

Modelovanie silných geomagnetických búrok 23. slnečného cyklu

M. Revallo, Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava, geofmire@savba.sk

F. Valach, Geomagnetické observatórium, GFÚ SAV, Hurbanovo, fridrich@geomag.sk

P. Hejda, Geofyzikální ústav AV ČR, Praha, ph@ig.cas.cz

J. Bochníček, Geofyzikální ústav AV ČR, Praha, jboch@ig.cas.cz

Abstrakt

Využitím metódy umelých neurónových sietí a analytického modelu pre interakciu slnečného vetra s magnetosférou bol vytvorený predpovedný model pre geomagnetickú aktivitu. Vstupom do modelu sú hodinové hodnoty parametrov slnečného vetra získané z družice ACE (Bz zložka medziplanetárneho magnetického poľa, rýchlosť, hustota častíc a teplota). Analytický model umožňuje výpočet magnetického poľa v okolozemskom kozmickom priestore ako aj výpočet diskontinuity magnetického poľa na hranici magnetosféry. V príspevku sa zaoberáme modelom, ktorý umožňuje z váhovanej postupnosti hodinových hodnôt diskontinuity magnetického poľa vypočítať geomagnetickú porušenosť vyjadrenú pomocou Dst indexu. Metódou na výpočet váhových funkcií je metóda umelých neurónových sietí. Modelový Dst index sme porovnávali s reálnymi dátami a to pre vybrané silné geomagnetické búrky z 23. slnečného cyklu. Na základe vypočítaných váhových funkcií sme ukázali, že nami vytvorený model možno použiť ako predpovednú schému na predpovedanie Dst-indexu na 1 hodinu dopredu.

1. ÚVOD

Pre súbor procesov v okolozemskom kozmickom priestore v dôsledku energetických úkazov na Slnku sa v súčasnosti používa názov kozmické počasie. Zvýšená slnečná aktivita môže mať sprostredkovane nepriaznivý vplyv na pozemské energetické, komunikačné a navigačné zariadenia. Je preto potrebné minimalizovať možné riziká a snažiť sa predpovedať kozmické počasie podobne ako je dnes zaužívané v prípade atmosférického počasia. Pozornosť sa sústreďuje hlavne na krátkodobé (hodinové) predpovedné modely, ktoré by zohľadňovali interakciu slnečného vetra s magnetosférou. Požiadavkou je výpočtová jednoduchosť modelu a schopnosť poskytovať predpovede v reálnom čase.

V práci Romashets et al. (2008) bol navrhnutý 3D model rotačného paraboloidu na modelovanie časti zemskej magnetosféry a na skúmanie interakcie slnečného vetra a magnetosféry. Na základe časových zmien parametrov slnečného vetra v libračnom bode L1 model umožňuje analytický výpočet magnetických polí v okolozemskom kozmickom priestore ako aj výpočet diskontinuity magnetického poľa na hranici magnetosféry a to s časovým rozlíšením 1 hodina. Uvedený model možno zaradiť do kategórie empirických modelov.

Na kvantitatívny opis geomagnetickej aktivity sa používajú geomagnetické indexy, najčastejšie je to Dst

index. Tento typ indexu vystihuje celkovú intenzitu globálnych prúdových systémov v blízkosti Zeme, predovšetkým prstencového prúdu, a preto je vhodnou mierou na opis geomagnetickej búrky pri matematickom modelovaní.

Pri tvorbe matematických modelov pre geomagnetickej aktivitu sa úspešne využívajú numerické metódy ako aj pokročilé štatistické metódy, napríklad metóda umelých neurónových sietí (Srivastava, 2005, Valach et al., 2009).

V práci Revallo et al. (2014) bol vytvorený model pre geomagnetickej aktivitu a to skombinovaním metódy umelých neurónových sietí a analytického modelu pre interakciu slnečného vetra s magnetosférou podľa Romashets et al. (2008).

V príspevku sa zaoberáme modelom podľa Revallo et al. (2014), ktorý umožňuje z váhovanej postupnosti hodinových hodnôt diskontinuity magnetického poľa na hranici magnetosféry vypočítať geomagnetickú porušenosť vyjadrenú pomocou Dst indexu. Metódou na výpočet váhových funkcií je metóda umelých neurónových sietí.

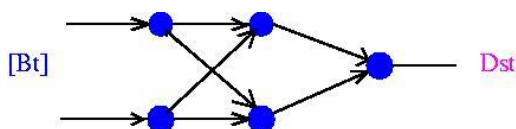
2. MATEMATICKÝ MODEL

Magnetické pole na hranici magnetosféry (pri prechode od slnečného vetra dovnútra magnetosféry) sa vyznačuje nespojitou tangenciálnou zložkou a nulovou

normálovou zložkou. V práci Romashets et al. (2008) bol odvodený analytický výraz pre diskontinuitu magnetického poľa cez magnetopauzu [Bt] ako pomerne komplikovaná funkcia parametrov slnečného vetra poskytovaných družicou ACE v libračnom bode L1, a to z-ovej zložky medziplanetárneho magnetického poľa Bz, rýchlosti v, hustoty častíc n a teploty T.

Romashets et al. (2008) ďalej poukázali na významnosť funkcie [Bt] pre jej súvis s magnetickou porušenosťou. Hodinové hodnoty funkcie [Bt] 12 hodín dozadu boli v empirickom modeli uvažované ako váhovaný príspevok k Dst indexu.

V práci Revallo et al. (2014) sme nadviazali na model podľa Romashets et al. (2008) a prevzali sme ideu o váhovaní príspevkov [Bt] k vyčísleniu Dst indexu, avšak tento vzťah sme uvažovali úplne všeobecne bez vopred daného predpisu. Namiesto toho sme váhové funkcie považovali za neznáme, ktoré je potrebné vypočítať a to takým spôsobom aby sa dosiahla čo najlepšia zhoda modelového Dst indexu s reálnymi dátami. Na tento účel sme použili metódu umelých neurónových sietí.

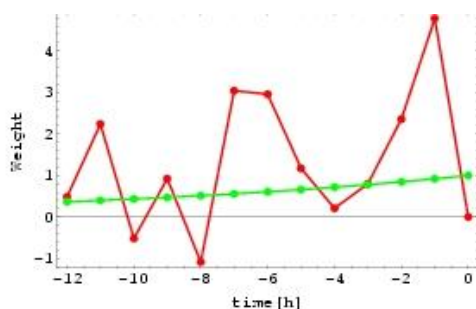


Obr. č. 1. Schéma modelu neurónovej siete so skrytou vrstvou neurónov; na vstup sa privádza funkcia [Bt] a na výstupe sa očakáva Dst index.

Vstupom do modelu bola už spomenutá funkcia [Bt], vyčíslená z parametrov slnečného vetra pre sériu vybraných silných geomagnetických búrok z 23. slnečného cyklu (Tripathy and Mishra, 2006). Výstupom neurónovo sieťového modelu bol Dst index.

3. VÝSLEDKY

Hlavným výsledkom modelovania je v tomto prípade informácia o váhových funkciách pre hodinové príspevky funkcie [Bt] k Dst indexu.

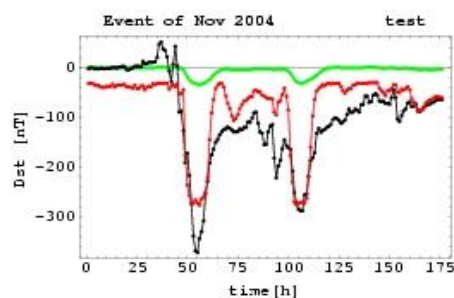


Obr. č. 2. Priebeh váhovej funkcie pre neurónovo sieťový model (červená) a pre empirický model (zelená).

Vypočítali sme, že v čase nula je príspevok parametrov slnečného vetra v libračnom bode L1 k magnetickej porušenosti nulový. Maximálny príspevok sa

dosahuje v čase -1 a staršie príspevky sú už menej významné pre aktuálnu magnetickej porušenosť. Romashets et al. (2008) uvažovali v empirickom modeli predpísanú exponenciálnu váhovou funkciu, ktorá dáva maximálny príspevok od funkcie [Bt] k Dst indexu práve v čase nula.

Vypočítali sme časový priebeh Dst indexu pre vybrané silné geomagnetické búrky a ukázali sme, že náš neurónovo sieťový model poskytuje presnejšie výsledky ako pôvodný empirický model s exponenciálnou váhovou funkciou podľa Romashets et al. (2008).



Obr. č. 3. Časový priebeh Dst indexu pre geomagnetickú búрку z novembra 2004; pre reálne dáta (čierna); pre neurónovo sieťový model (červená) a pre empirický model (zelená).

4. DISKUSIA A ZÁVER

Skombinovaním analytického prístupu a metódy umelých neurónových sietí sme vytvorili všeobecnejší a presnejší model pre geomagnetickú búрку. Na základe vypočítaných váhových funkcií sme ukázali významnosť minulých časových príspevkov od slnečného vetra k magnetickej porušenosti. V čase nula je tento príspevok nulový, čo je očakávaný výsledok, keďže zmeny parametrov slnečného vetra sa neprejavujú v magnetickej porušenosti okamžite. Nulová hodnota váhovej funkcie v čase nula okrem iného indikuje, že nami vytvorený model možno použiť ako predpovednú schému na predpovedanie Dst indexu na 1 hodinu dopredu.

Detailnejší rozbor váhovej funkcie pri opakovanom 101-násobnom spustení umelej neurónovej siete, podrobnejšie informácie o výpočtovej metóde, výsledky pre sériu geomagnetických búrok, ako aj otestovanie a porovnanie modelu s inými príbuznými modelmi možno nájsť v článku Revallo et al. (2014).

Podakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore grantovej agentury VEGA (grant 2/0030/14), a tiež vďaka grantu APVV-0662-12 a projektu OC09070 AVČR. Údaje o slnečnom vetre boli získané z databázy OMNIWeb Space Physics Data Facility (omniweb.gsfc.nasa.gov) a Dst dáta boli získané z databázy World Data Center (WDC) for Geomagnetism, Kyoto (wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/).

LITERATÚRA

- Revallo M., Valach F., Hejda P., Bochníček J.: 2014, A neural network Dst index model driven by input time histories of the solar-wind magnetosphere interaction, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 110-111, 9-14.
- Romashets E.P., Poedts S., Vandas M.: 2008, Modeling of the magnetic field in the magnetosheath region, *J. Geophys. Res.*, 113, A02203.
- Srivastava N.: 2005, A logistic regression model for predicting the occurrence of intense geomagnetic storms, *Ann. Geophys.*, 23, 2969-2974.
- Tripathi R., Mishra A.P.:2006, Occurrence of Severe Geomagnetic Storms and their Association with Solar-Interplanetary Features, ILWS Workshop, preprint.
- Valach F., Revallo M., Hejda P., Bochníček J. :2009, Solar energetic particle flux enhancement as a predictor of geomagnetic activity in a neural network-based model, *Space Weather*, 7, S04004.