

Závěrečná zpráva o řešení studentského projektu

- **Název projektu:** Analýza emisí typu chorus z dat družic Cluster a DEMETER
- **Řešitel:** Martin Formánek, 2. ročník
- **Vedoucí projektu:** Doc. RNDr. Ondřej Santolík, Dr., KFPP
- **Charakter projektu:** Zpracování experimentálních dat
- **Termín ukončení projektu:** 30. září 2009

Průběh řešení projektu

Práce na projektu můžeme rozdělit do pěti fází:

- Seznámení s daty a programovacím prostředím IDL
- Prohledávání dat
- Hledání konjunkcí družic na stejné magnetické siločáře v dipólové aproximaci.
- Hledání konjunkcí družic v modelu zemského magnetického pole Tsyganenko
- Analýza dat z konjunkcí

Seznámení s daty a programovacím prostředím IDL

Data z projektu Cluster [1] jsme měli k dispozici v adresářové struktuře na disku. Data DEMETER jsme stáhli z její domácí stránky [2]. Pro snadnější manipulaci s databází jsme vytvořili pomocnou funkci `loadcluster`, která má za úkol vygenerovat pro zadaný čas cestu k `aux` souboru clusteru. Daný soubor pak načteme do paměti příkazem:

```
| RESTORE, loadcluster(rok,mesic,den,hodina,minuta),
```

přičemž z roku se zadává jen poslední číslice. Například datový soubor z dne 26.5.2007 a času 15:24 načteme příkazem:

```
| RESTORE, loadcluster(7,5,26,15,24).
```

Pro datové soubory DEMETER jsme napsali obdobnou funkci. Telemetrická data družice jsme měli k dispozici v ASCII formátu, proto pro jejich načítání využíváme template `nacitanidemeter.sav`. Příkazy, které načtou požadovaný soubor jsou:

```
| RESTORE, "/home/formanek/projekt/nacitanidemeter.sav"  
|   navez=loaddemeter(rok,mesic,den,hodina,minuta,sekunda)  
|   demeter=READ_ASCII(navez,TEMPLATE=nacitanidemeter)
```

Formát zadávání času zůstává stejný, jen je navíc potřeba zadat i sekundy.

• **Prohledávání dat**

Při procházení databáze jsme narazili na problém v podobě chybějících dat. Obtíž s chybějícími daty z projektu Cluster jsme ošetřili přímo v programu. Jediné případy, s kterými se náš program neumí vyrovnat jsou chybějící data DEMETER a poškozené datové soubory Clusteru (aux soubory existují, ale neobsahují žádná data). Pro příští použití uvádíme tabulku výskytu těchto událostí (Tabulka 1.) a jejich seznam (Tabulka 2.) Rozsah prohledávaných dat je dán spuštěním projektu DEMETER (červenec 2004) a posledními námi dostupnými daty z projektu Cluster (září 2008)

rok	měsíc												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2004	■						D	D	D	D			D
2005	D			D						D			
2006						D							
2007												D	
2008	D	D								■			

■ - žádná data ■ - poškozená data Clusteru D - chybějící data DEMETER

Tabulka 1.: Grafické znázornění chybějících dat z obou druhů družic

DEMETER	Cluster
2004	2004
28.7. 8:13:30 - 11.8. 7:48:00	5.12. část 1
1.9. 8:02:30 - 7.9. 7:48:00	26.9. část 3
25.10. 8:02:30 - 28.10. 7:48:00	2005
19.12. 8:02:30 - 21.12. 7:48:00	18.3. část 1
2005	31.7. část 2
2.1. 8:02:30 - 5.1. 7:48:00	10.9. část 3
17.4. 8:02:30 - 20.4. 7:48:00	6.11. část 1
8.10. 8:11:30 - 9.10. 7:48:00	4.12. část 3
2006	12.9. část 3
21.6. 8:02:30 - 22.6. 7:48:00	6.1. část 2
2007	2006
28.12. 8:02:30 - 30.12. 7:48:00	7.6. část 3
2008	4.5. část 1
29.1. 8:02:30 - 2.2. 7:48:00	9.5. část 1
	2007
	15.3. část 1
	23.5. část 3
	3.7. část 2
	11.9. část 3
	19.11. část 3
	2008
	21.3. část 2
	13.7. část 2
	22.9. část 3
	25.2. část 3

Tabulka 2.: Seznam chybějících dat pro Demeter (levá tabulka) a Cluster (dvě pravé tabulky)

• **Hledání konjunkcí družic na stejné magnetické siločáře v dipólové apoximaci.**

Tento problém řeší procedura `casovani.pro`, která zařizuje prohledávání adresářové struktury dat z Clusteru. Jako test existence společné siločáry slouží volaná funkce `dipol.pro`. Siločára se začne vykreslovat od dané pozice jedné z družic Clusteru podle vztahu:

$$y = K \cos^2(\theta) , \tag{1}$$

kde K je pro danou siločáru konstanta a θ je magnetická šířka. Toto je známý vztah pro siločáru dipólu, který jsme pro jistotu sami odvodili. Prohlásíme, že DEMETER je na stejné siločáře, pokud se vyskytne od této siločáry do vzdálenosti 300 km (cca 0,05 Re).

Časy nalezených konjunkcí v daném časovém úseku jsou vypsány do textového souboru `vystup.txt`. Typický výstup vypadá následovně:

```

2006 08 01 05 56 30 vysledek: 1 0 1 0
c1:      8.78158      48.2140      234.168
c2:      9.17735      48.3352      223.206
c3:      8.06261      49.1102      228.156
c4:      6.14434      69.8994      240.744
dem:      1.1063637      -74.799923      232.48245

```

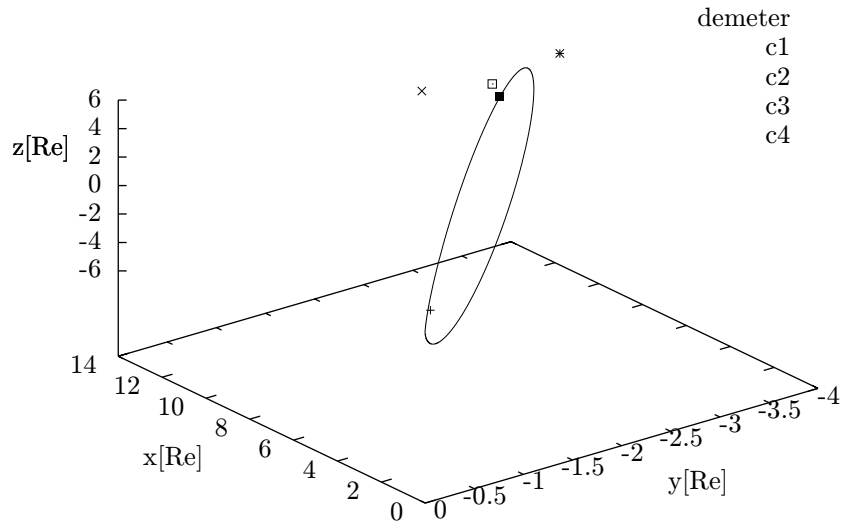
Titulkový řádek udává čas ve formátu RRRR MM DD hh mm ss a také výsledek testu existence společné siločáry DEMETER s jednotlivými družicemi Cluster. 1 značí nalezení této siločáry zatímco 0 opak. Dále jsou uvedeny polohy všech družic v souřadné soustavě SM. Uvedená čísla znamenají po řadě vzdálenost od středu Země (v Re), magnetickou šířku a magnetickou délku (obojí ve stupních).

Nalezené konjunkce jsme porovnali se časovými intervaly, kdy byla zapnuty vědecké přístroje družice DEMETER. Z nich jsme navíc vybrali ty, které spadaly do burst modu družice DEMETER. Pro tyto účely jsme napsali třídící program v programovacím prostředí Delphi. Časy nalezených konjunkcí v burst modu shrnuje následující tabulka:

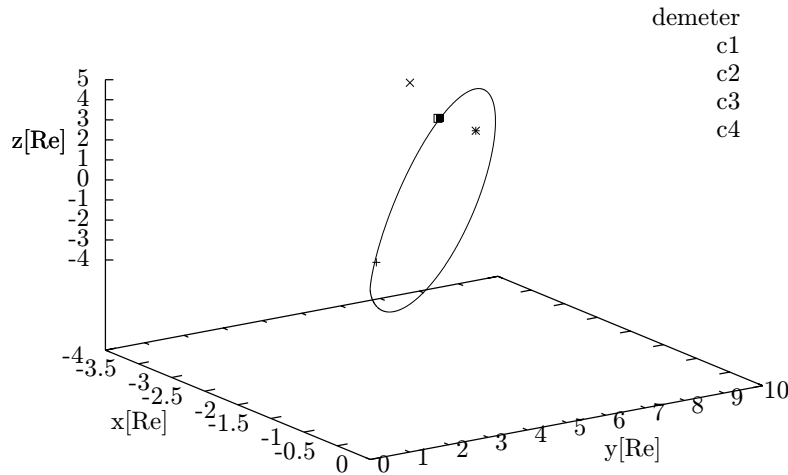
	r [Re]	šířka[°]	délka[°]
25.3.2006 21:42:30			
c4:	10,212	28,008	342,686
dem:	1,106	-71,042	339,078
4.12.2007 6:54:30			
c3:	6,802	34,459	111,307
c4:	6,799	34,530	111,316
dem:	1,103	68,652	108,999
17.4.2008 18:06:30			
c2:	2,728	21,901	150,943
dem:	1,106	-54,149	152,638
17.4.2008 18:07:30			
c3:	2,643	12,637	154,302
c4:	2,646	12,778	154,307
dem:	1,106	-50,451	152,551

Tabulka 3.: Seznam nalezených konjunkcí v burst modu spolu s polohami družic v SM

Pro dvě vybrané konjunkce z Tabulky 3 jsme ručně ověřili správnost načtených údajů a nechali si vykreslit siločáru. Takto zpracovaná data předkládáme v grafech 1 a 2. V legendě uvedená označení c1, c2, c3, c4 značí jednotlivé družice projektu cluster. Dvoudimenzionální zobrazení těchto grafů bohužel trochu zkresluje skutečnost, ale i tak je vidět, že satelity leží na stejné siločáře.



Graf 1.: Konjunkce v burst modu z data 25.3.2006 21:42:30. Souřadná soustava SM



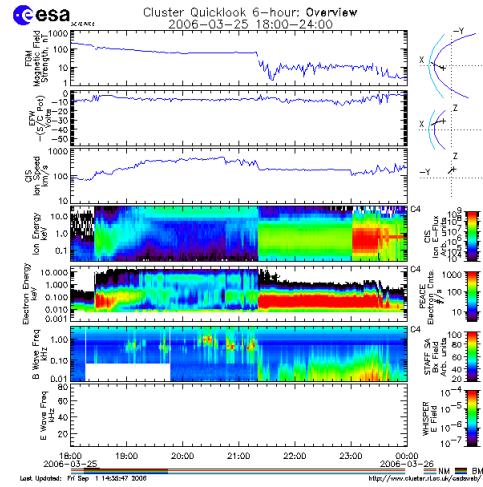
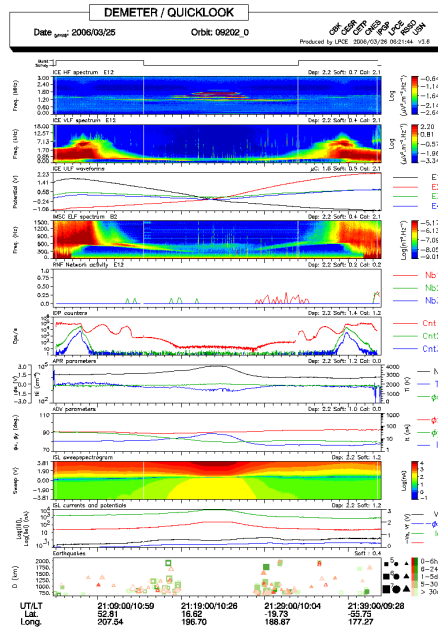
Graf 2.: Konjunkce v burst modu z data 4.12.2007 6:54:30. Souřadná soutava SM

• **Hledání konjunkcí družic v modelu zemského magnetického pole Tsyganenko**

Zařizuje procedura `casovanitsyganenko.pro` spolu s funkcí `tsyganenko.pro`. Tsyganenkův model byl zahrnut v námi používané knihovně na převod souřadnic Onera [3]. Konkrétně jsme použili proceduru `trace_field_line`. Vše pracovalo správně, až na samotnou proceduru knihovny Onera - generovala siločáry v příliš hrubém rozlišení nebo vůbec ne.

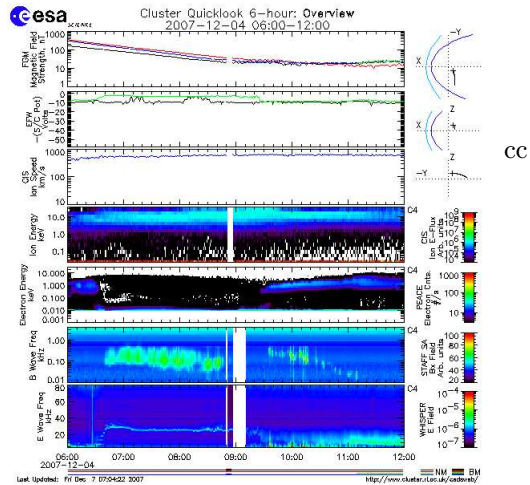
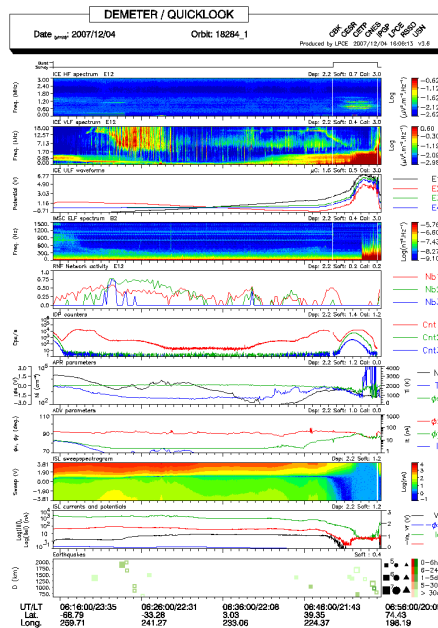
• **Analyza dat z konjunkcí**

Na quicklooku Clusteru z první konjunkce je vidět, že zařízení se nacházelo blízko magnetopauzy a v průběhu zobrazeného časového intervalu ji dokonce překročilo. Přesto byly poblíž času konjunkce naměřeny hvězdy.



Obr. 1.: Quicklooky z 25.3.2006

Naopak z dat druhé konjunkce se dá vyčíst, že družice Clusteru se vyskytovala blízko tzv. plasmashet.



Obr. 2.: Quicklooky z 4.12.2007

Dle článku [3] se mohou emise typu chorus ve hvizdovém módu šířit velmi přibližně podél siločar, a proto předpokládáme, že při konjunkcích na téměř stejné magnetické siločáře můžeme tyto hvizdy pozorovat na obou družicích.

Závěr

Seznámili jsme se se strukturou telemetrických dat projektů Cluster a DEMETER. Provedli jsme prohledání těchto dat v časovém období červenec 2004 - září 2008 a sestavili seznam konjunkcí dvojice družic na stejné magnetické siločáře v dipólové aproximaci. Z tohoto seznamu jsme vybrali konjunkce odpovídající časům, kdy byla družice DEMETER v provozu respektive v burst modu. Zvolené kritérium vzdálenosti DEMETER od siločáry do 300 km se ukázalo být zbytečně přísné, proto do budoucna počítáme s opětovným prohledáním dat, které by poskytlo více konjunkcí v burst modu. Těž počítáme s použitím přesnějšího modelu magnetického pole Země [3].

Literatura

- [1] Cluster: <http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=8>
- [2] Demeter: <http://demeter.cnrs-oleans.fr>
- [3] Tsyganenko, N. A., A magnetospheric magnetic field model with a warped tail current sheet, *Planet. Space Sci.*, 37, 5–20, doi:10.1016/0032-0633(89)90066-4, 1989.
- [4] Santolik, O., J. Chum, M. Parrot, D. A. Gurnett, J. S. Pickett, and N. Cornilleau-Wehrin, Propagation of whistler mode chorus to low altitudes: Spacecraft observations of structured ELF hiss, *J. Geophys. Res.*, 111, A10208, doi:10.1029/2005JA011462, 2006.

Vyjádření vedoucího projektu