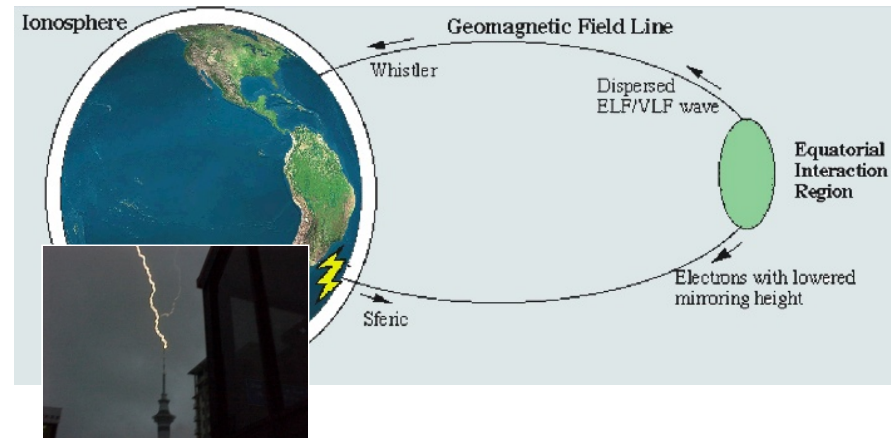


Whistlerek automatikus inverziójának megvalósítása GPU-kon az AWDANet mérőhálózatban

Koronczay Dávid, Lichtenberger János, Hetényi Tamás
ELTE Űrkutató Csoport

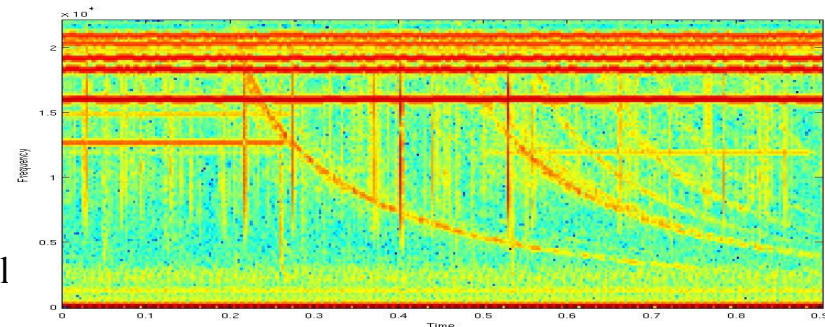
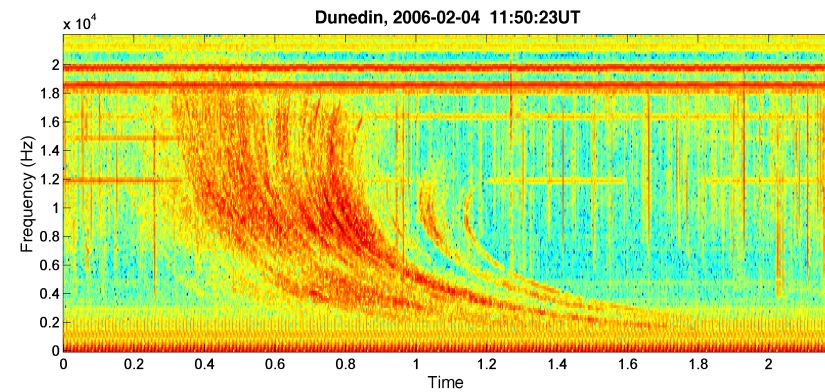
Whistlerek

- A whistlerek villám keltette VLF (3-30 kHz) impulzusok, melyek a mágneses erővonalak mentén terjednek, és az földön ill. a világűrben észlelhetők

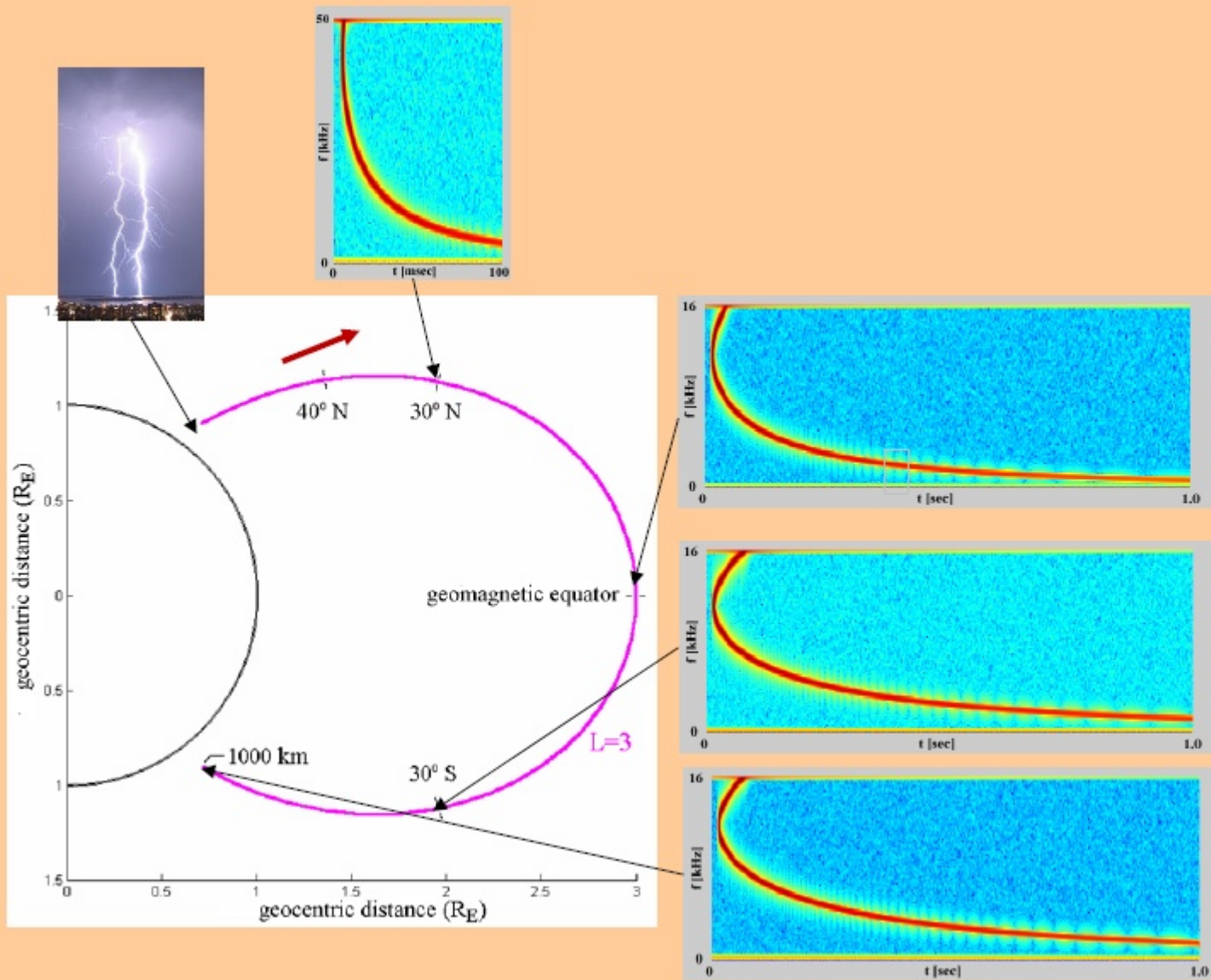


- A magnetoszféra-beli plazmában való terjedés során jellegzetes frekvencia-idő jelalakot vesznek fel

- Az időkézés függ a terjedési út menti plazmasűrűségtől
- ⇒ Whistler mérésekből következtetni lehet a plazmasűrűségre a plazmaszférában



Whistlerek automatikus inverziója az AWDANet hál

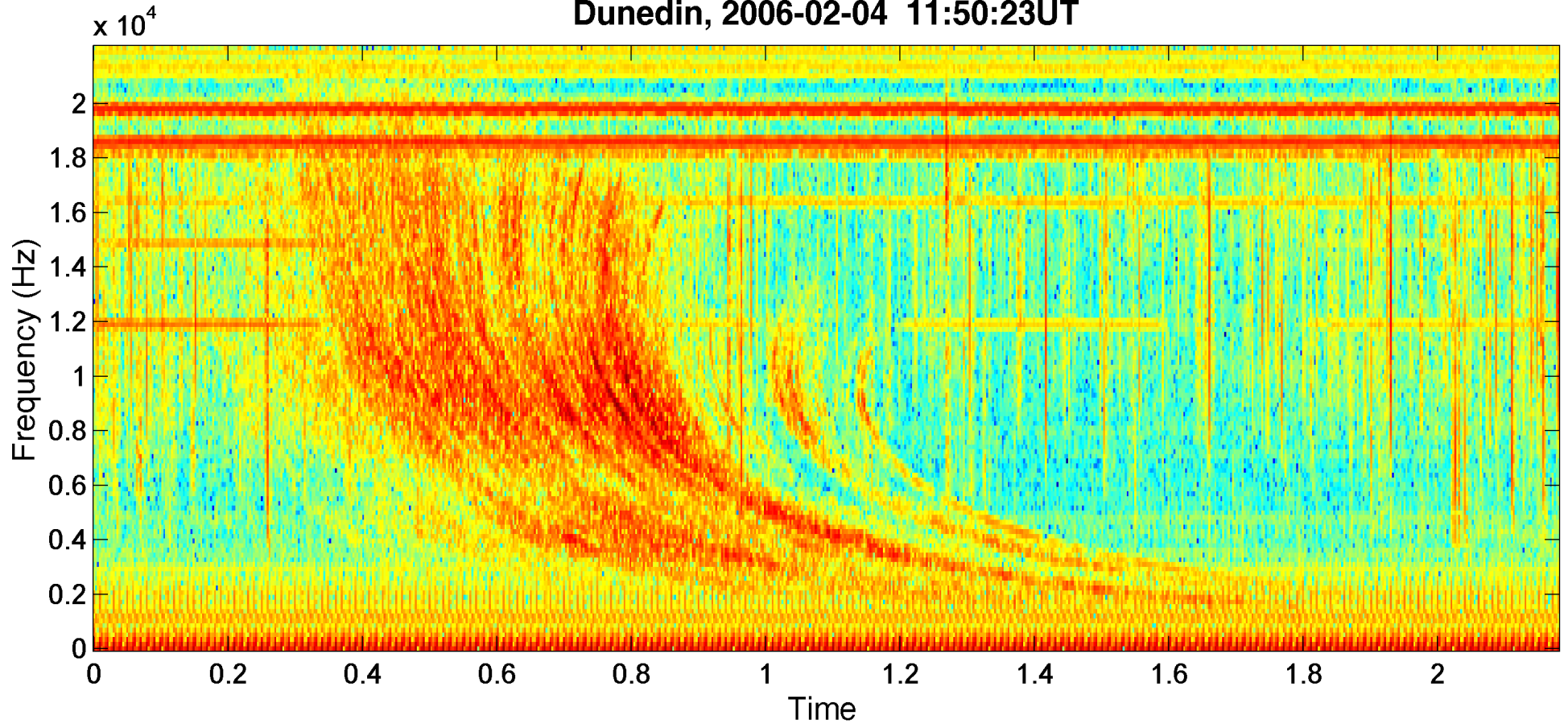


- lightning > whistlers
short, broad band
impulse (UWB)

- from the nose
frequency and
dispersion:

- Equatorial e- density
- L-value

Dunedin, 2006-02-04 11:50:23UT



Egy whistler csoport + spherics + VLF rádióadók

Whistler inverziója

- Cél: A terjedési út menti plazmasűrűség és a terjedési út meghatározása (“whistler inverziós eljárás”)
- Hogyan?

1. Terjedési modell

Terjedési modellek

- Közelítések: 1. fizikai megfontolásból 2. numerikus számolás egyszerűsítése

Homogén mágneses térben, ionizált közegben, Maxwell-e monokromatikus whistler megoldása (lásd pl. Helliwell (1965)):

$$v_g = \frac{c}{\mu_g} \cong 2c \frac{\omega^{1/2}(\omega_H - \omega)^{3/2}}{\omega_p \omega_H}$$

$$\omega_H = \frac{eB_0}{mc} \quad \omega_p = \sqrt{\frac{4\pi ne^2}{m}}$$

- $t(f)$ tehát függ két paramétertől:

- mágneses tér nagysága

- elektronsűrűség

(mindkettő értéke változik a terjedési út mentén)

- Cél: A terjedési út menti plazmasűrűség és a terjedési út meghatározása (whistler inverziós eljárás)
- Szükséges elemei:
 1. hullámterjedési modell
 2. mágneses tér modell
 3. terjedési út menti plazmasűrűség eloszlás modell

A későbbiekben használt modellek:

1. hullámterjedési modell:

- Bernard
- [Appleton-Hartree](#)
- Appleton-Hartree a +1 tag nélkül
- Ferencz (2001)

2. mágneses tér modell:

- IGRF
- [Centrális dipól](#)

3. elektronsűrűség eloszlás modell:

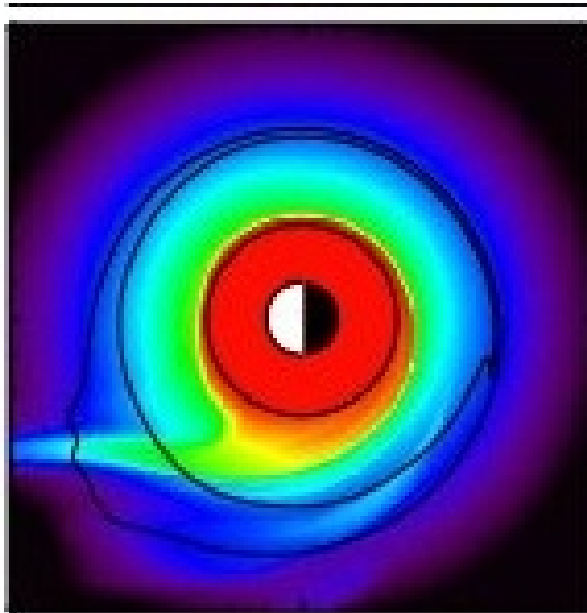
- „diffuzív egyensúly” modell
- [Denton \(2002\)](#)

- Az inverzió hagyományos menete:

1. A mért nyom meghatározása ($f_i - t_i$ párok kiolvasása)

2. Paraméteres modellgörbék illesztése, paraméterek (pl. f_n, t_n meghatározása)

3. Fizikai paraméterek, elsősorban L és n_{eq} (terjedési út és egyenlítői elektronsűrűség) származtatása



- Az inverzió hagyományos menete:

1. A mért nyom meghatározása ($f_i - t_i$ párok kiolvasása)

- számos automatizálási kísérlet (időtartománybeli szűrés, képfeldolgozás stb.) kudarcot vallott → **jelenleg nem megoldott az automatizálása**
- → **alternatív inverziós módszer: Lichtenberger (2009)**

Lichtenberger-féle inverzió

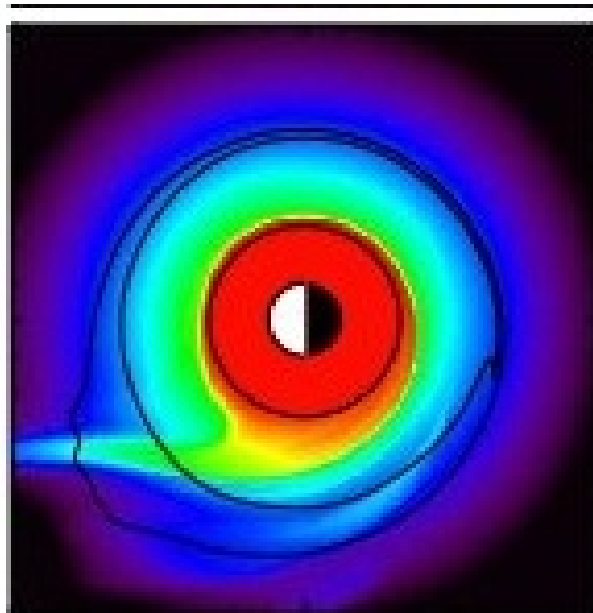
- Előnyei:

1. nem szükséges a görbe kiolvasása → automatizálható

2. ún. több utas terjedésű whistler csoportok esetén együtt kezeli a nyomokat, nem külön-külön

Kitérő: többutas whistlercsoportok

- Def: **Azonos volt a keltő villám, de különböző erővonalak mentén terjedtek**
- Eddig külön vizsgálták az egyes nyomokat, holott az “L-ben szomszédos” sűrűségek összefüggnek: $n_{eq}(L)$ profil
- Egy többutas whistlercsoport $n_{eq}(L)$ -t “mintavételezi” több különböző L értéknél, “pillanatfelvételt” készít a plazmaszféráról



- Inverziós eljárás elemei:
 1. hullámterjedési modell
 2. mágneses tér modell
 3. erővonal menti elektronsűrűség eloszlás modell
 4. egyenlítői elektronsűrűség eloszlás modell (A, B)vegyünk egy egyszerű modellt:

$$\log_{10}(n_{eq}) = A + BL \quad \{ 1,4 < L < 8 \}$$

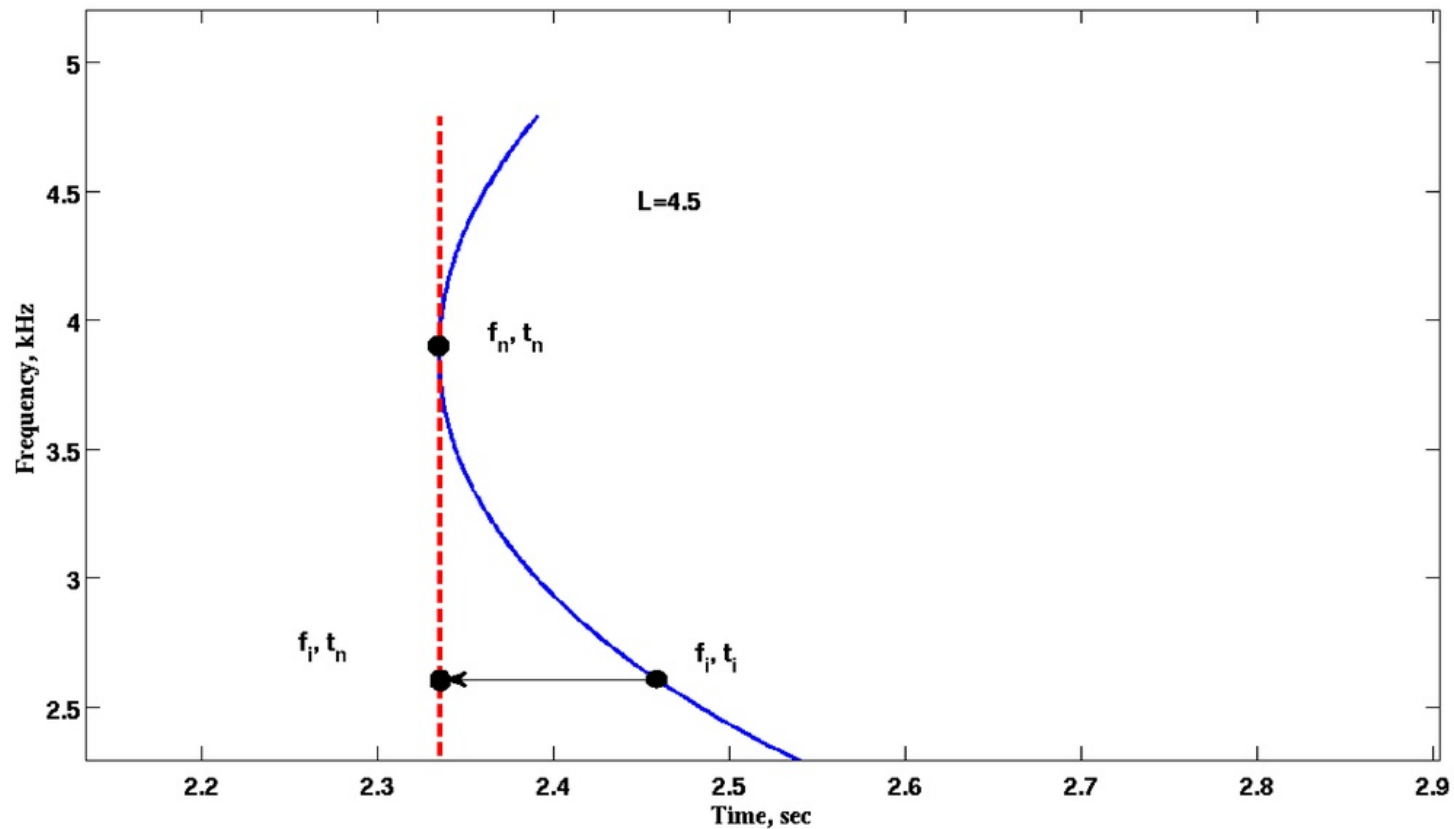
Lichtenberger-féle inverzió

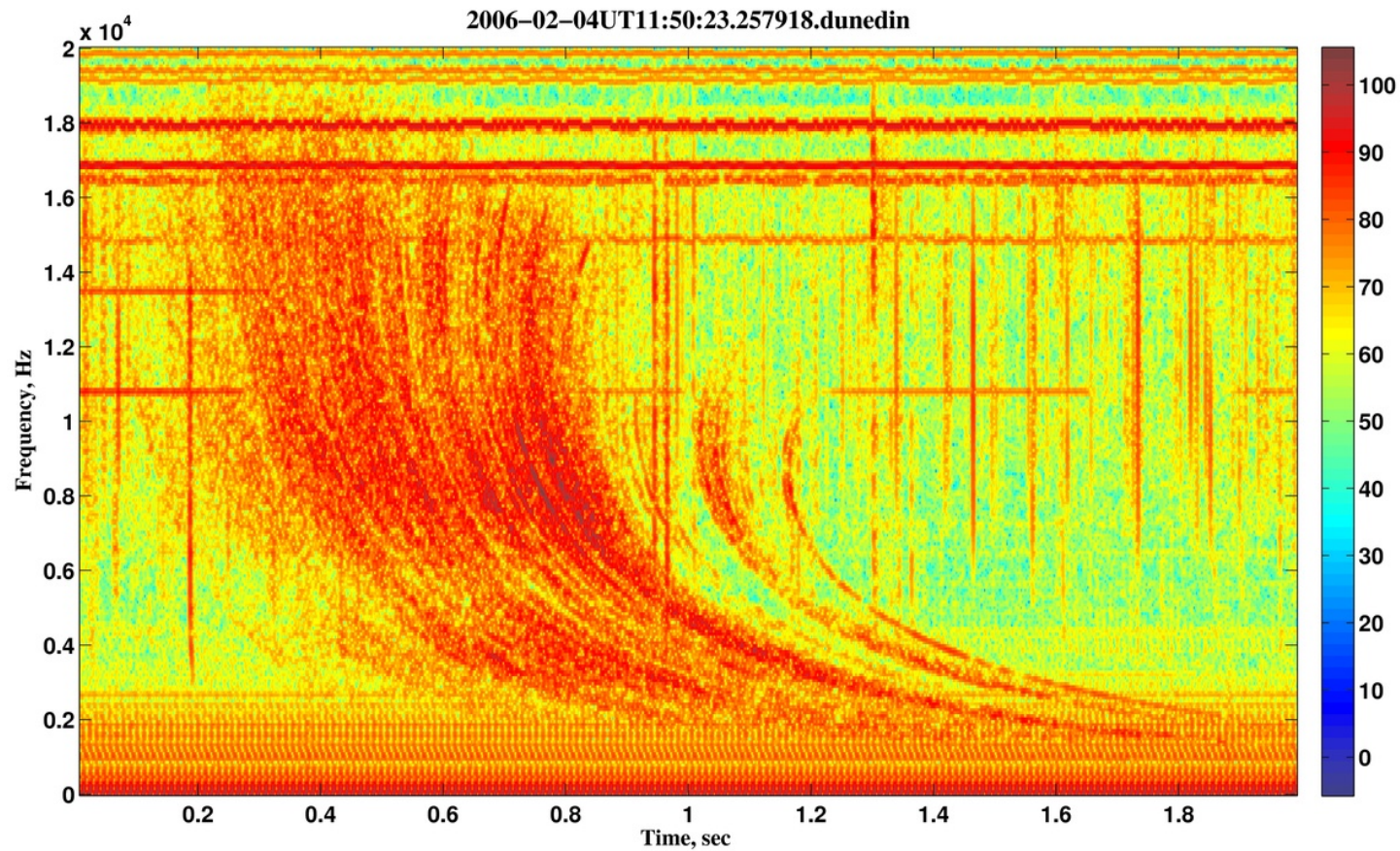
- VTT transzformáció bevezetése
- Ennek iterálása

VTT (Virtual Trace Transformation)

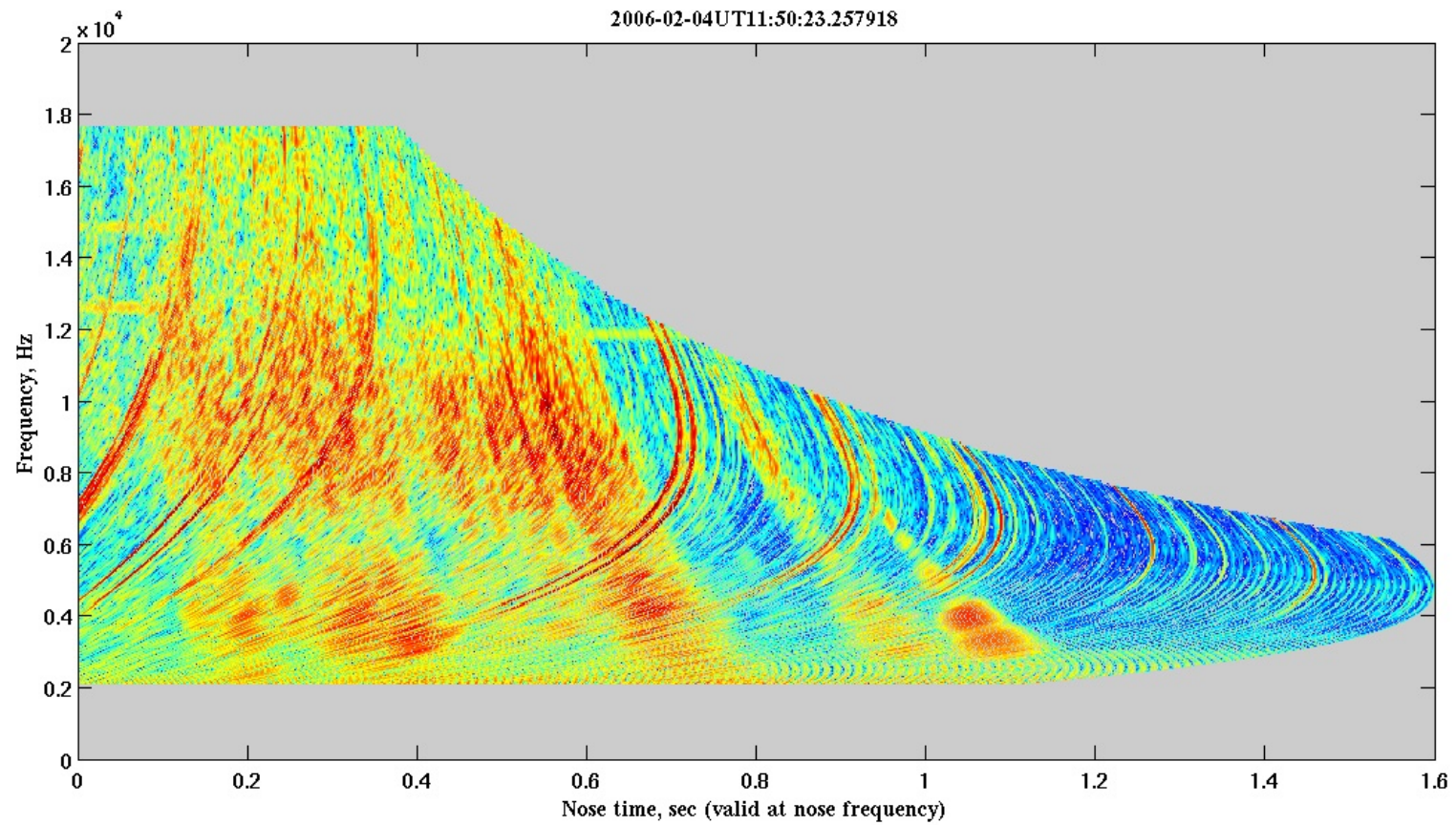
- 3 paraméteres **A**, **B** és **dt** (a keltő villám ideje) transzformáció
- Egy többutas whistler csoportot **pontosan akkor transzformál függőleges vonalakká, ha a paraméterek értéke megegyezik a valóssal**

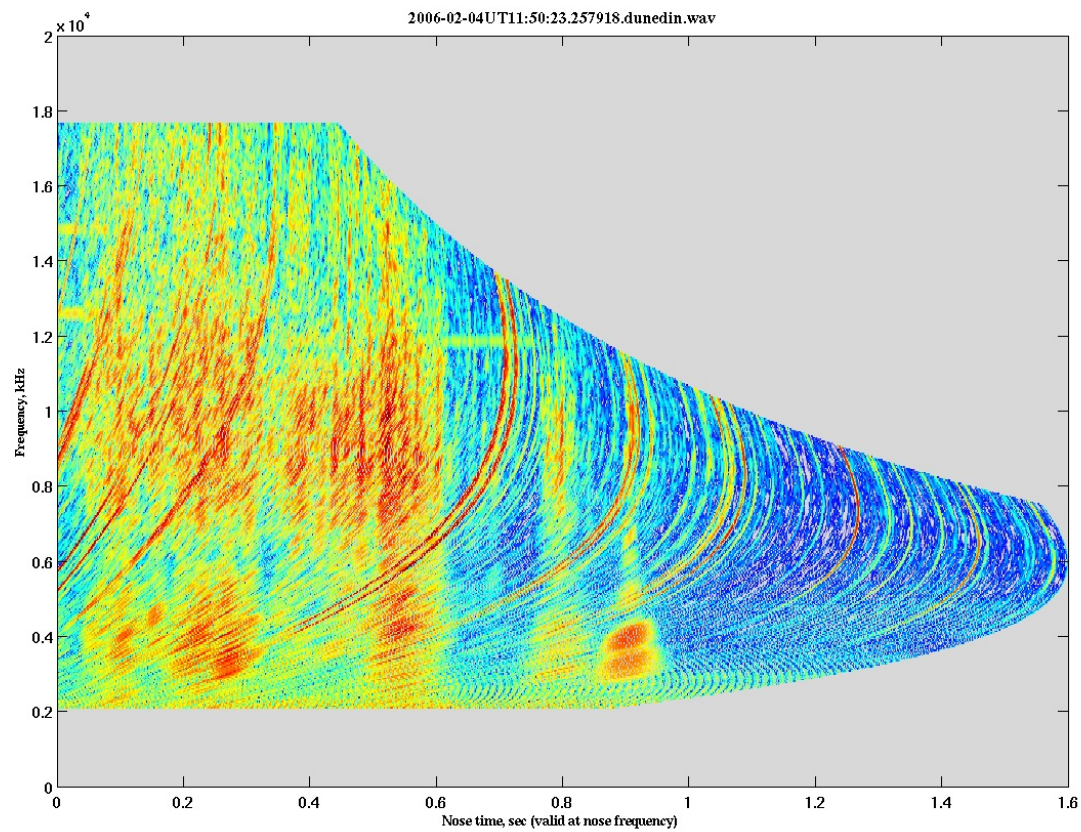
VTT (Virtual whistler trace transformation)



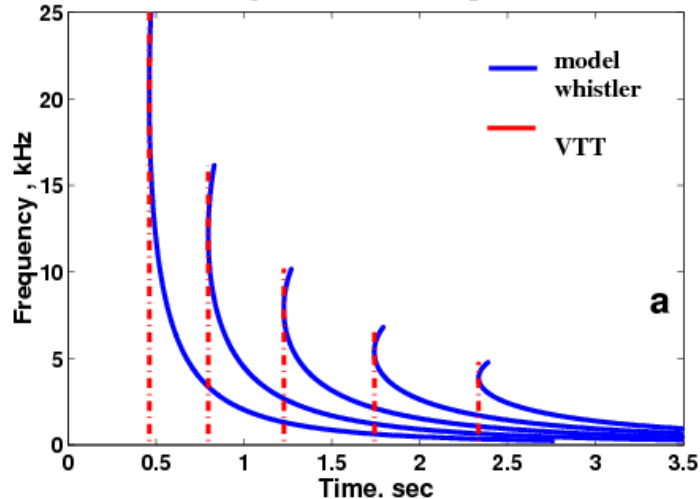


- $n_{eq}(L)$ folytonos, monoton \rightarrow a görbesereg lefedti az f - t teret (“virtuális whistler kontinuum”)
- Transzformáljunk minden (f_i, t_i) pontot (f_i, t_n) -be \rightarrow minden nyom függőleges vonallá válik

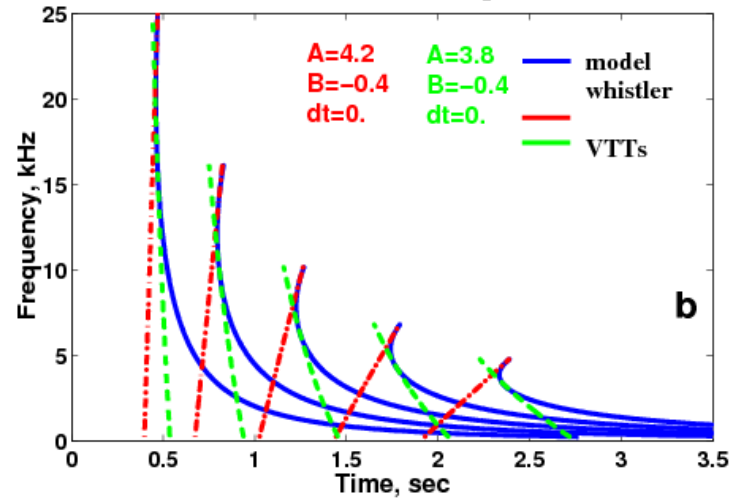




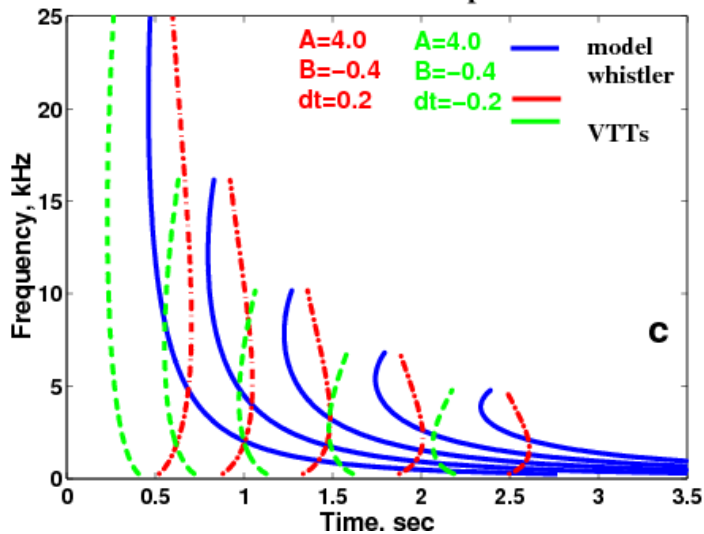
Model whistlers and their Virtual Trace Transformations
Matching model and VTT parameters



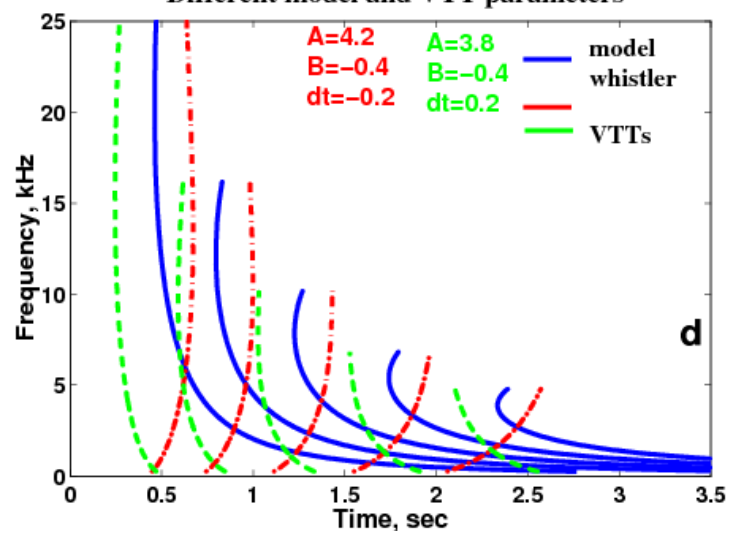
Model whistlers and their Virtual Trace Transformations
Different model and VTT parameters



Model whistlers and their Virtual Trace Transformations
Different model and VTT parameters



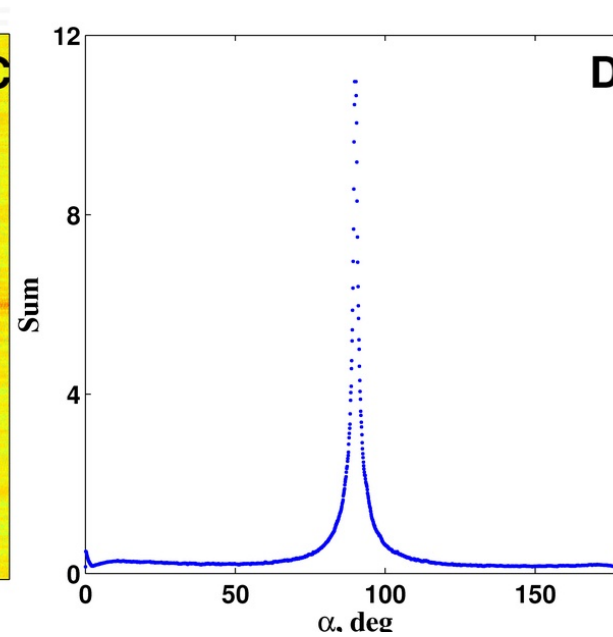
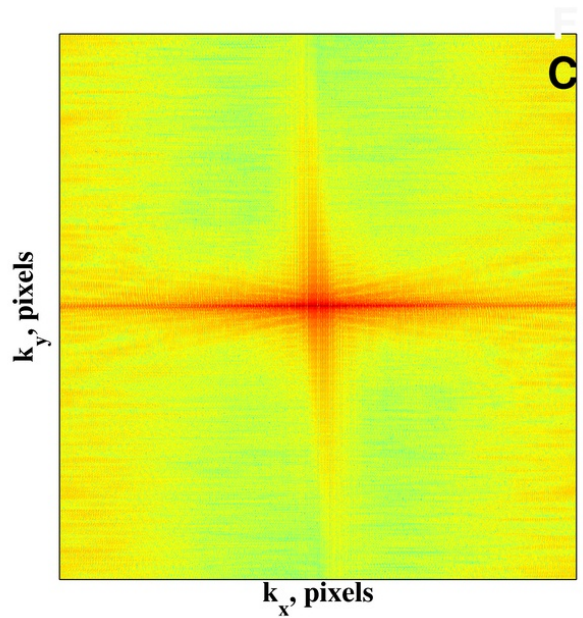
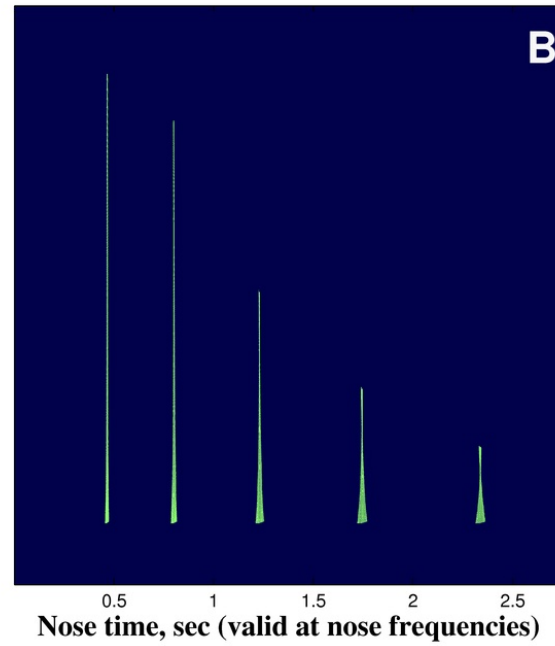
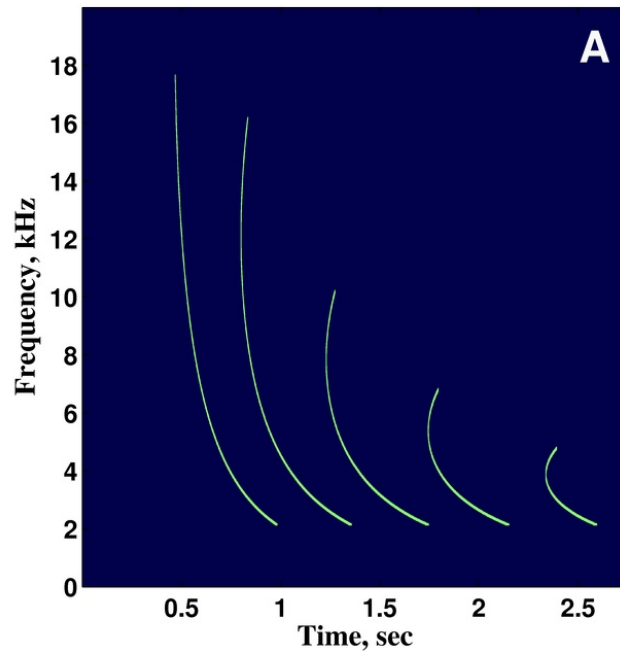
Model whistlers and their Virtual Trace Transformations
Different model and VTT parameters



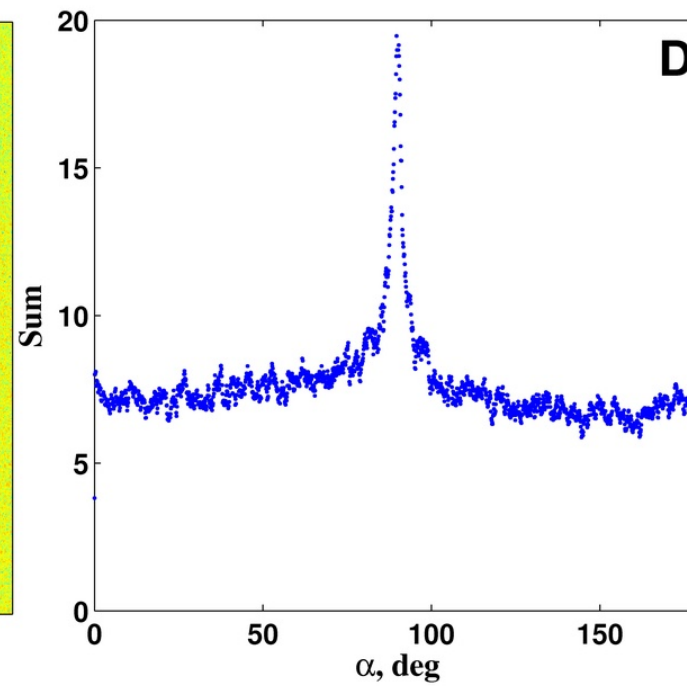
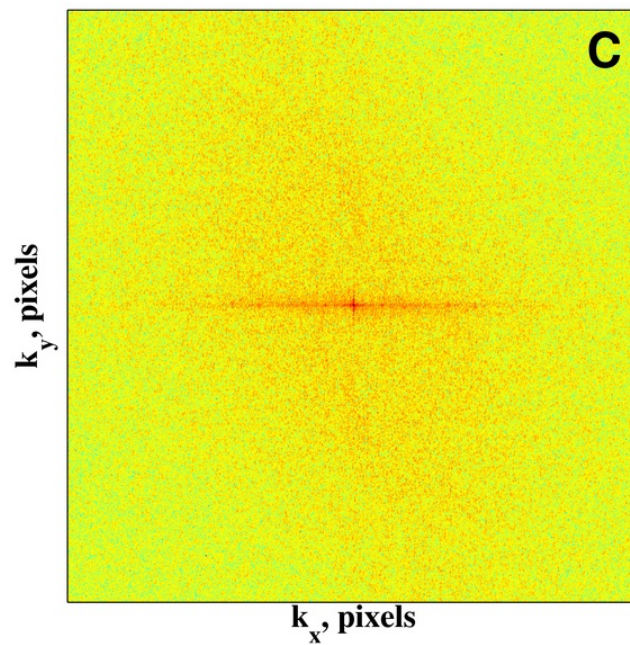
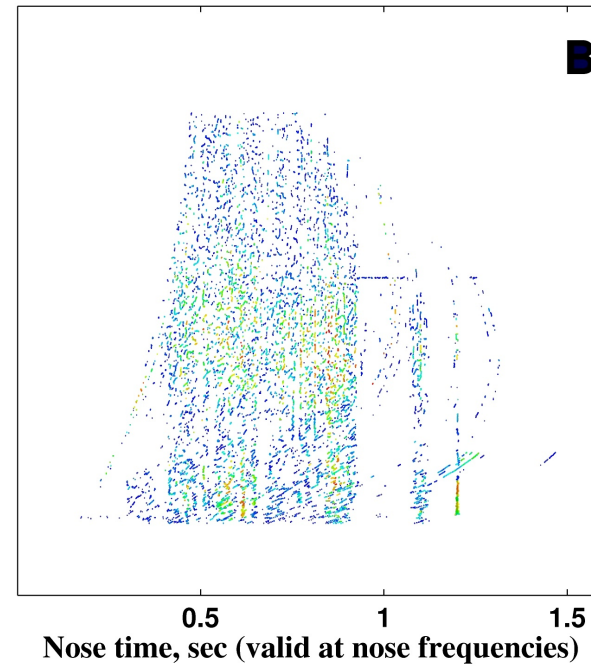
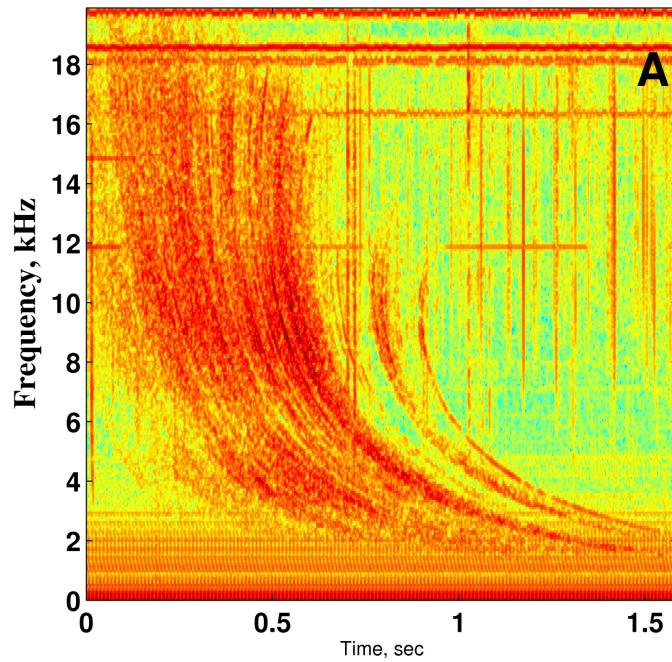
Lichtenberger-féle algoritmus lépései

- 1. spektrogram tisztítása ún. “súlyozott spektrogram” módszerrel
- 2. zajkivágás
- 3. a következő lépések iterálása az optimális dt, A, B paraméterek megtalálásáig:
 - VTT
 - függőleges struktúrák vizsgálata:
 - a) 2D FFT
 - b) maximumkeresés

Modellezett többutas whistler csoporton alkalmazva



Valós többutas whistler csoporton alkalmazva



Valós idejű feldolgozás

Első optimalizálási kísérletek:

- Kód optimalizálása (100x)
- wh. nyom számolás helyett Lookup Table-ből (500x)
- Zajok kivágása/eldobása a spektrogrammból (100x)
→ **1 nyom feldolgozása 3-4 óra** (átlagos CPU-n, = 2.8GHz Core2 Duo)
- Detektált whistlerek száma erősen évszak- és állomásfüggő
 - évi 100000-től 6 millióig
 - aktív régiókban **óránként akár ~800** potenciálisan invertálható whistler

- A plazmaszféra órás skálájú változásait nézzük
- Elég óránként 10-15 pillanatfelvétel
- Elég **250-300 másodperc** alatt feldolgozni egy nyomcsoportot
- Még **100x-os gyorsulás** hiányzik

További szempontok:

- Kompakt (kis súly, térfogat) megoldás
- Megfizethető (a globális hálózathoz minimum 10-15 állomás kellene)

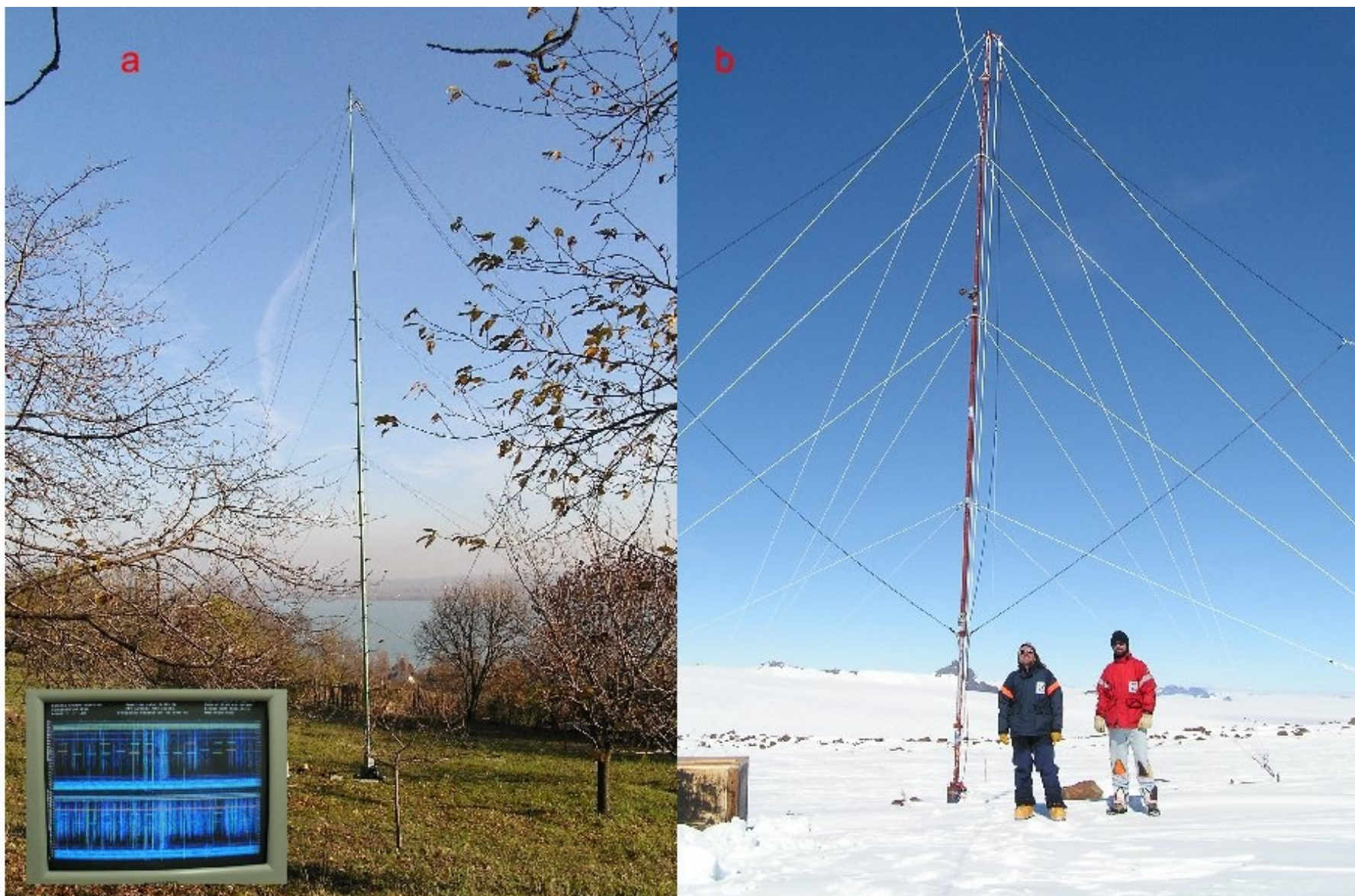
→ **GPU kártyák**

- Gépenként 2 db GeForce GTX 590 = 4 GPU core
- Állomásonként 1-3 ilyen gép = 4-12 GPU core
- Könnyen parallelizálható
- Maradt 6000 sor matlab kód + 4500 sor C/CUDA kód
- 1 nyom inverziója kb ~ 2 perc

- Tesztelés: **GPU core fagyások**
 - egyszeri, <10000 futtatásonként, magától megjavul
 - időszakos: órákra, napokra kiesik, szoftver/hardver reset nem segít, firmware frissítés kockázatos
 - kód módosítása, kieső GPU core esetén a többi zavartalanul folytatja
- További redundancia: shell scriptek: kieső gép esetén a többi zavartalanul folytatja

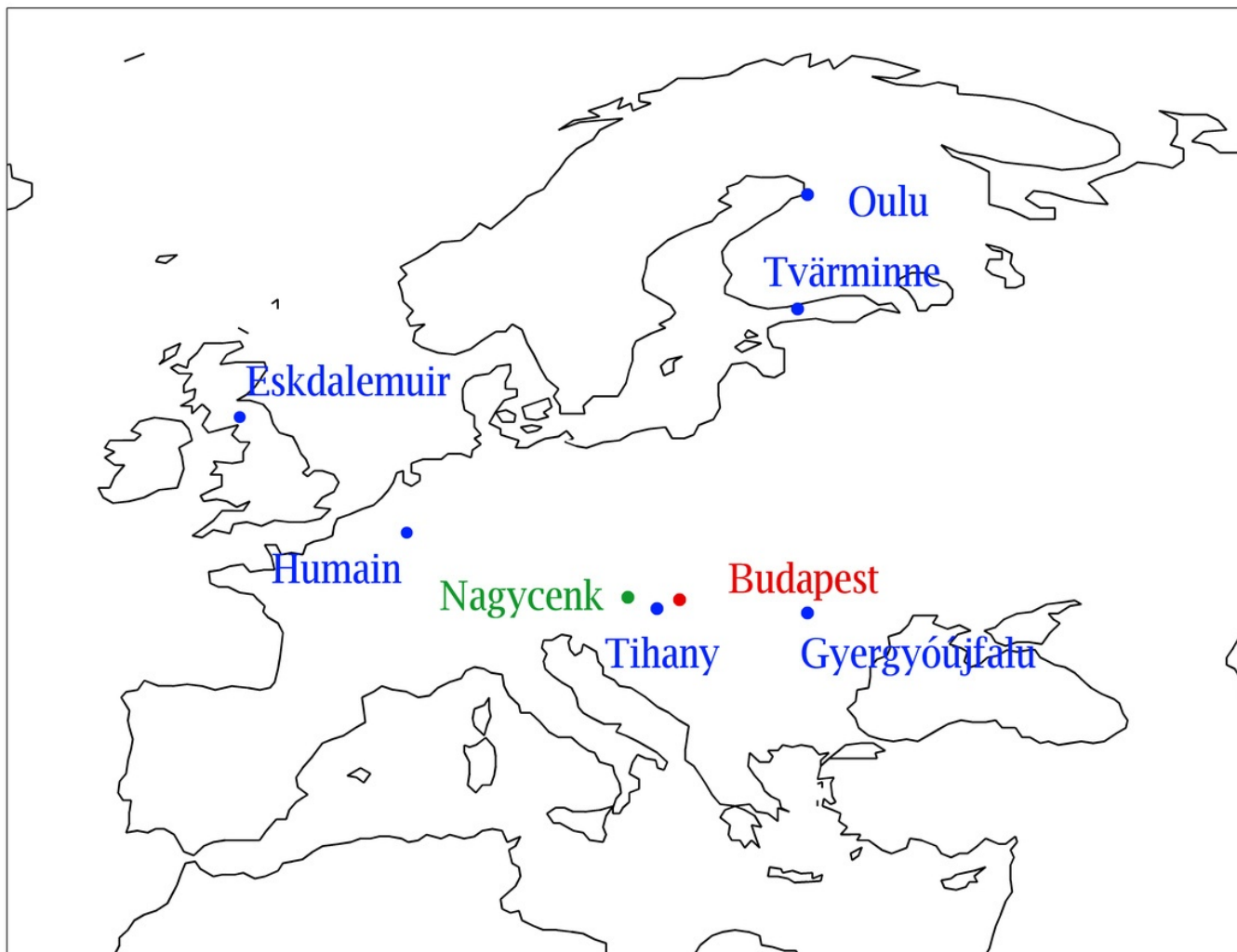
Automatic Whistler Detector and Analyzer Network

- Valós idejű monitorozás
- ~globális lefedettség
- Azonos antennák, azonos adatfeldolgozó szoftver
- Az ELTE Űrkutató Csoport vezetésével
- A valós idejű adatok feltöltésre kerülnek a <http://plasmon.elte.hu/> weboldalra

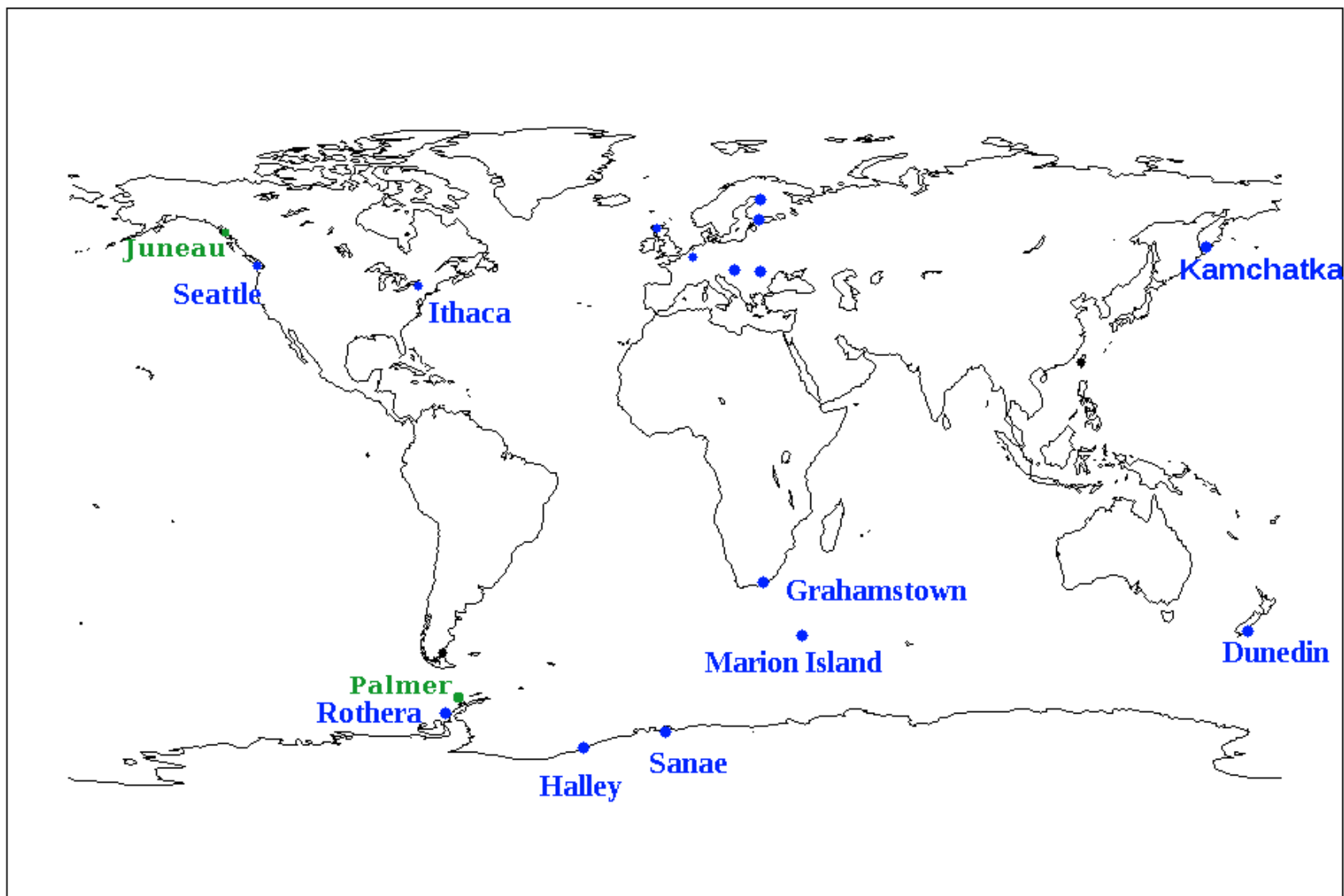


Whistlerek automatikus inverziója az AWDANet hálózatban. 2014-09-18

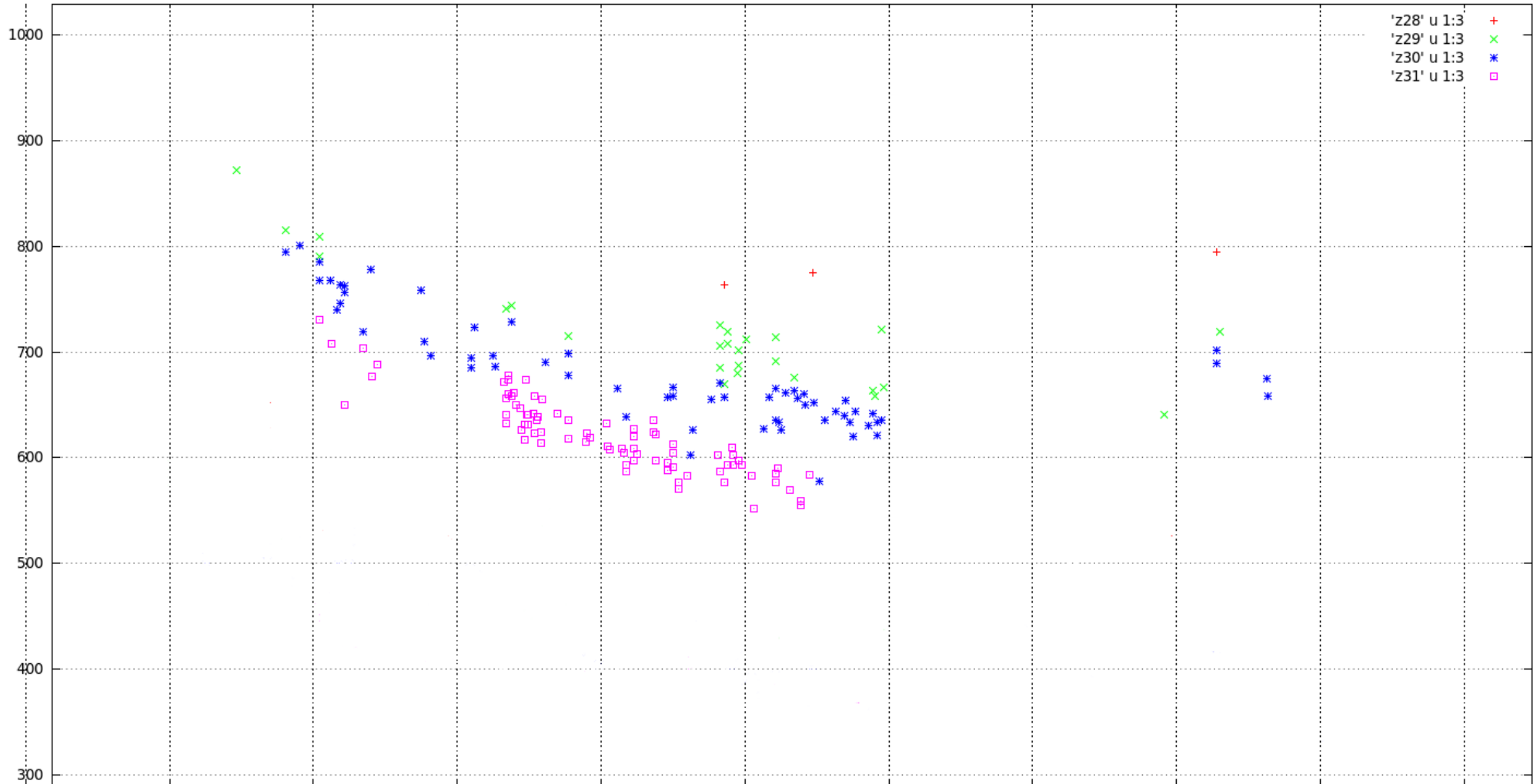
Európai AWDANet állomások



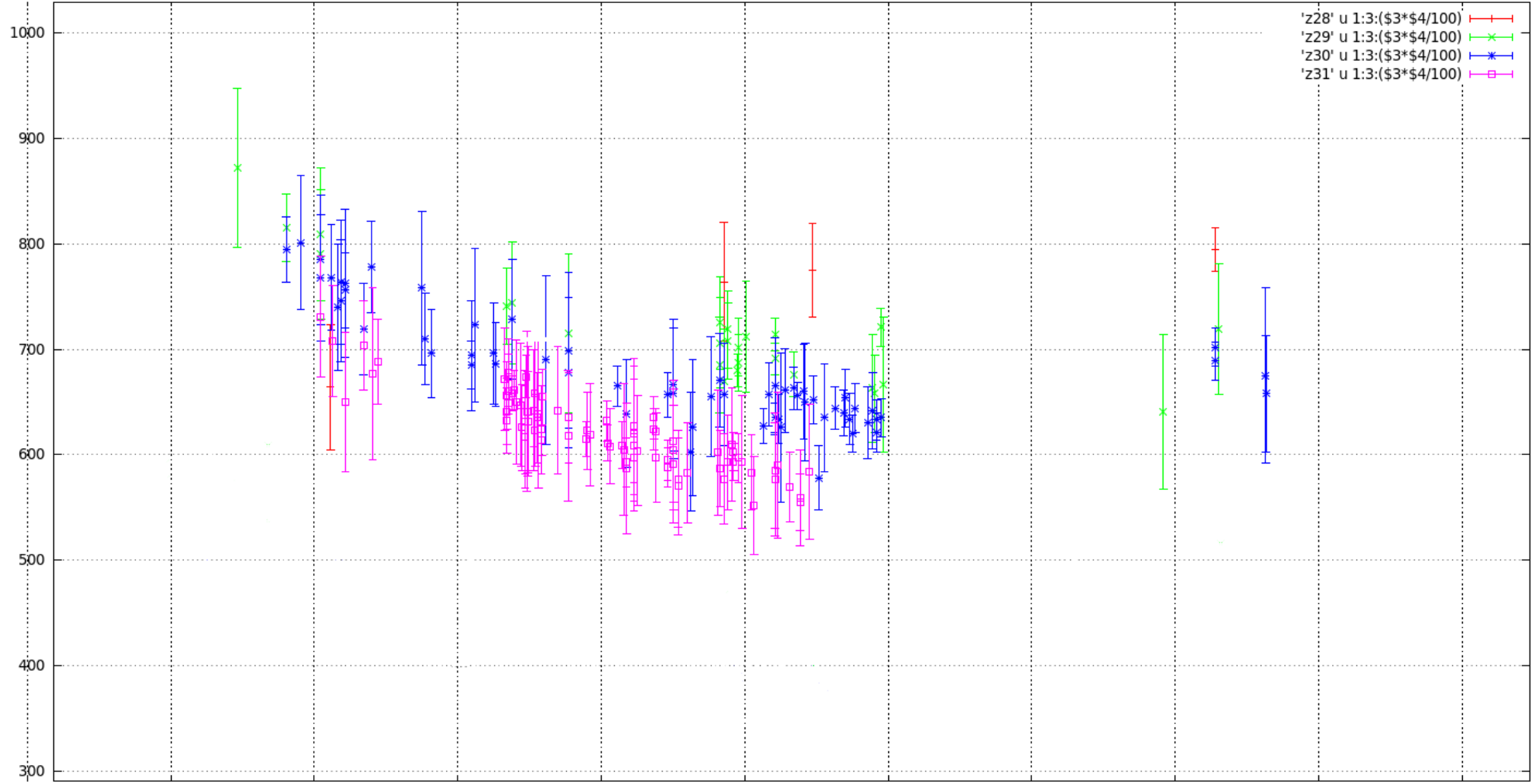
AWDANet állomások világszerte



./hourly_sums_rothera.dat



./hourly_sums_rothera.dat



Kitekintés: Következő lépések

- Kalibráció műholdas whistler mérésekkel, műholdas közvetlen plazmasűrűség mérésekkel
- További állomások optimális helyszínének becslése
- Archív adatok feldolgozása