



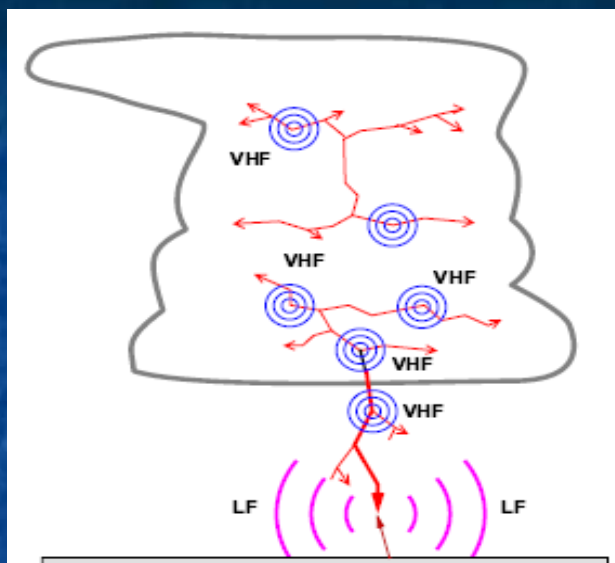
ZIVATAROK VILLÁMLÁS AKTIVITÁSÁNAK MEGFIGYELÉSE VHF FREKVENCIÁKON

**Dombai Ferenc, Barta András
Suhai Bence**

VILLÁMLÁSOK TÍPUSAI ÉS SPEKTRUMA

Felhőn belüli kisülések

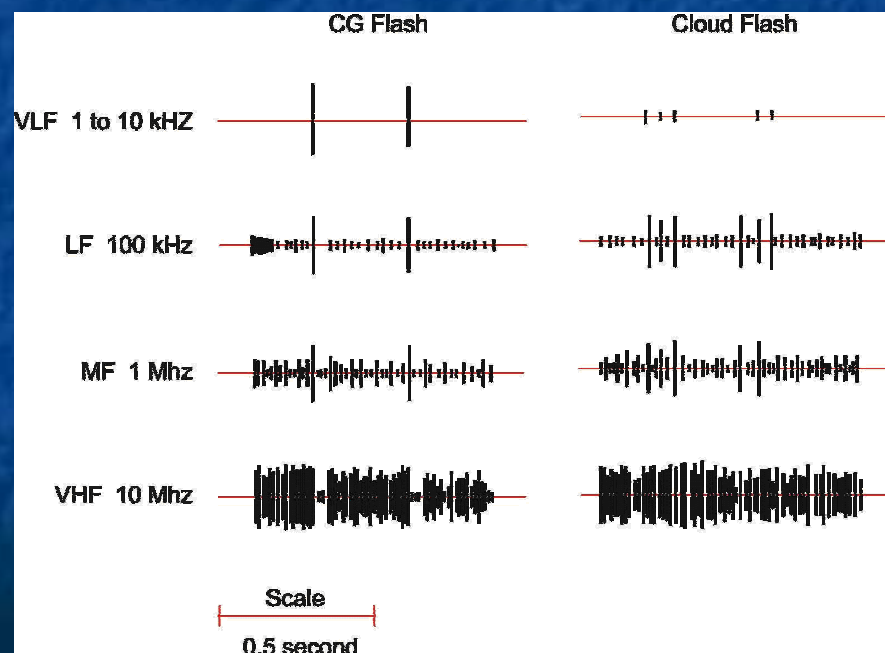
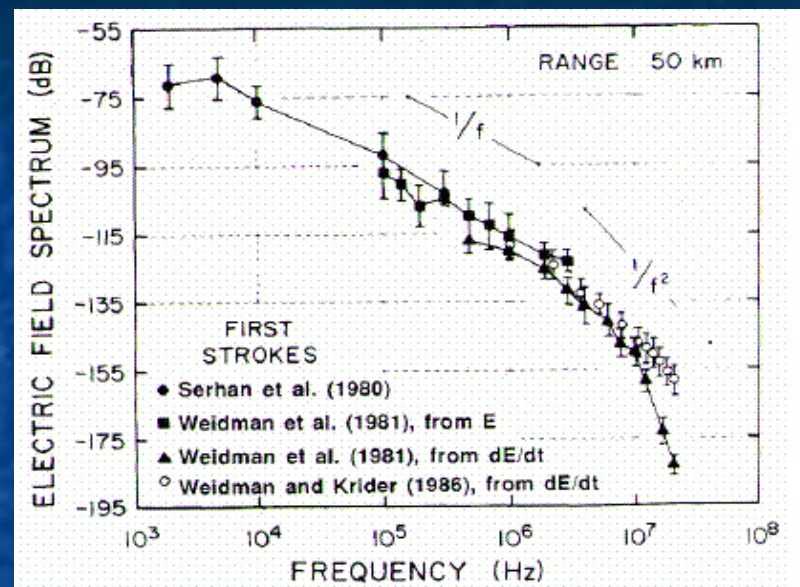
- IC villámok
- elosztott töltéshalmazok között zajlik
- rövid impulzusokból és impulzus sorozatokból épül fel, kisebb csúcsáramok,
- energia maximuma magasabb frekvenciákon



Felhő-Föld kisülések

- CG villámok
- koncentrált indukált töltések a talajon
- lassúbb jelenség nagy csúcsáramokkal
- energia maximum kisebb frekvenciákon, VLF/LF

VHF sugárzás a villámlás teljes időszakában





MIÉRT KELL FOGLALKOZNIUNK VHF DETEKTÁLÁSSAL ?

Mert a felhő - Föld (CG) villámlások a zivatarok elektromos aktivitásának csak kis hányadát reprezentálják, 2-20 % , a többi felhőn belüli kisülés (IC).

Mert a felhőn belüli kisülések gyakoriságának növekedése közel 30 perces idővel megelőzi az első felhő-föld villámok megjelenését.

Mert a teljes villámlás (IC+CG) gyakoriság jellemző indikátora a konvektív jelenségek veszélyességének, a felhő villámlások hirtelen megnövekedése a helyzet „komolyra” fordulást jelenti!

Mert a felhőn belüli (IC) villámlások jól mutatják a zivatarfelhőzet kiterjedését beleértve a „üllő” felhőzet régióit is.

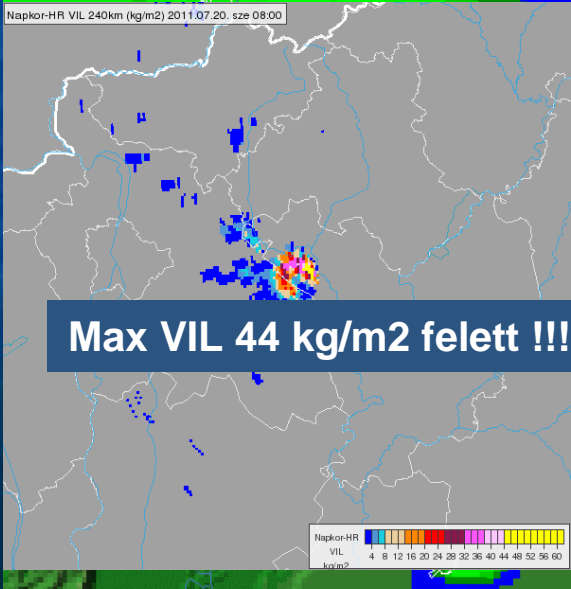
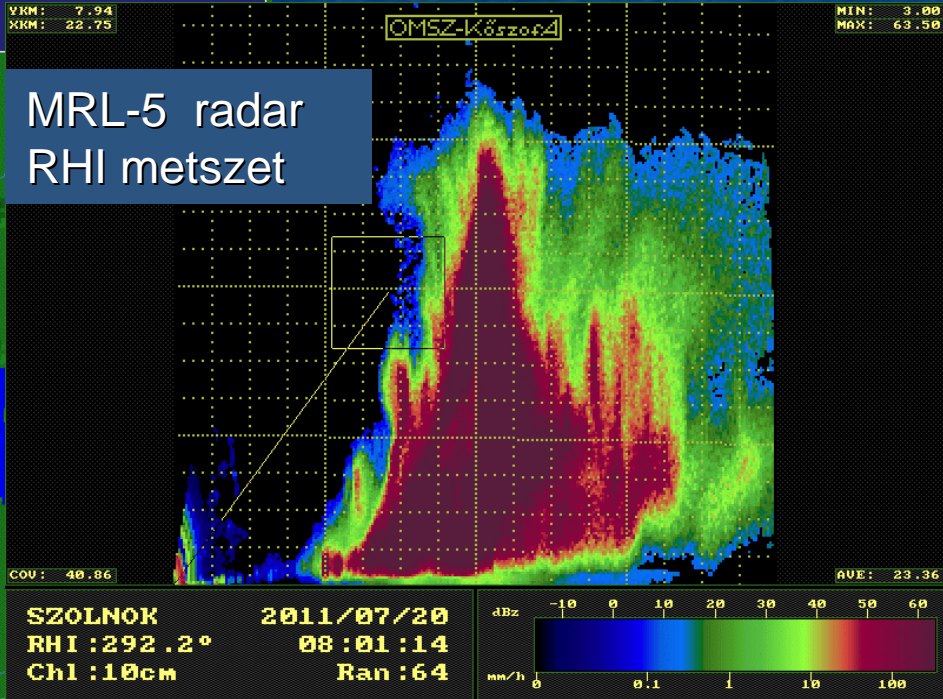
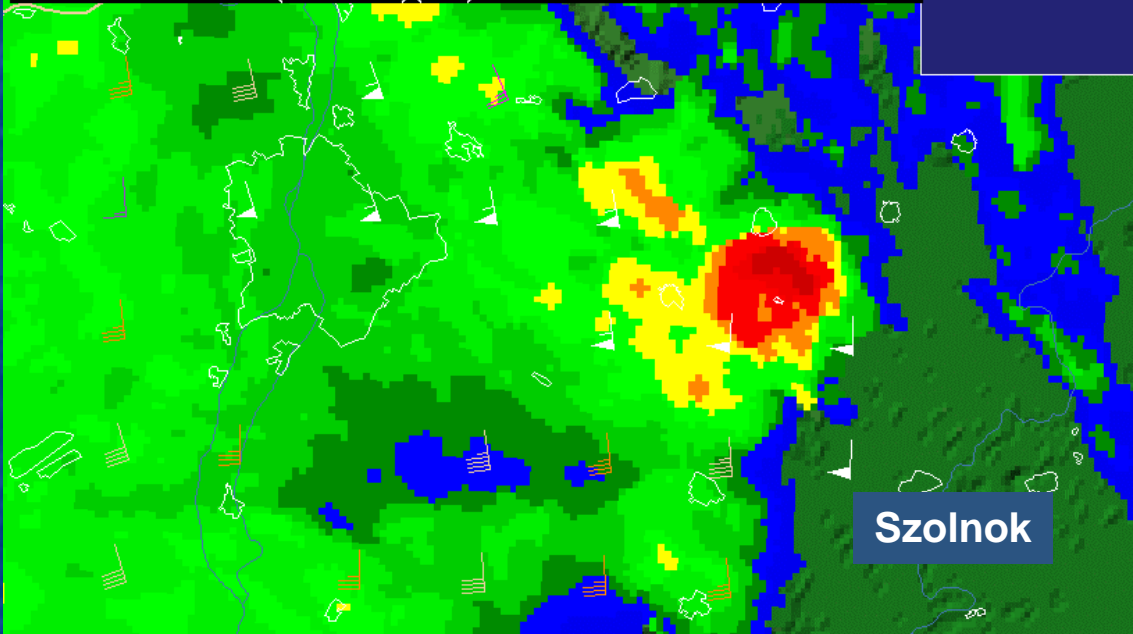
Mert az IC/CG arány, az IC villámok vertikális eloszlása, gyakoriságuk térbeli időbeli eloszlása felhasználható a zivatarfejlődés valós idejű nyomon követésére késedelem nélkül.



SZUPERCELLA - 2011 JÚLIUS 20, 08:00 UTC

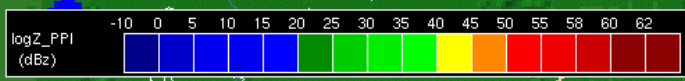
Magyarország logZ_PPI (dBz) KompozitHR 2011-Júl-20 Szerda 08:00 UT
RADAR MotionVector (conf>60%) (m/s) CMAX 2011-Júl-20 Szerda 08:00 UT

1 km felbontasu kompozit radarkep.
YRM: 7.94
XRM: 22.75



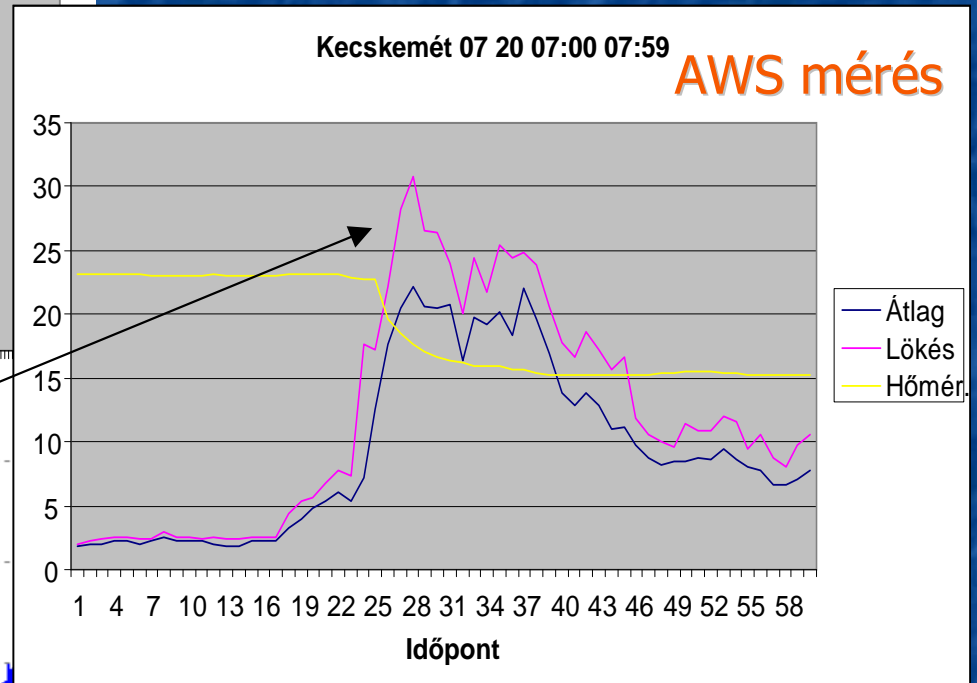
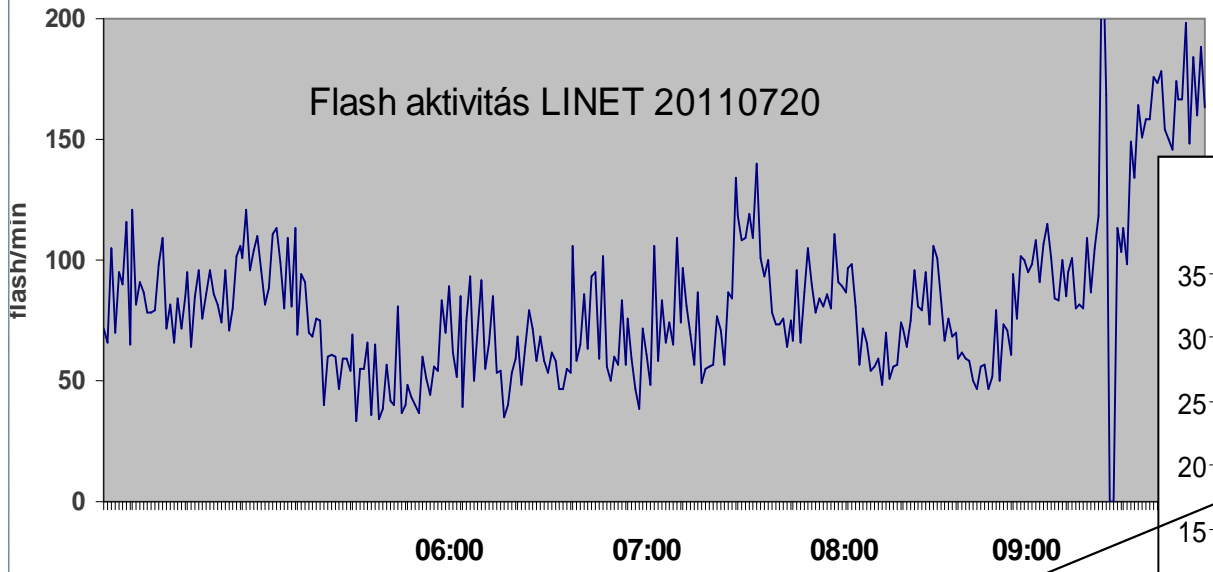
Kecskemét

Max dBZ 55-60
> 55 dBZ 12 km-ig !
Max VIL 44-64 kg/m2
> 25 m/s áthelyeződés !
500 IC / 5 min



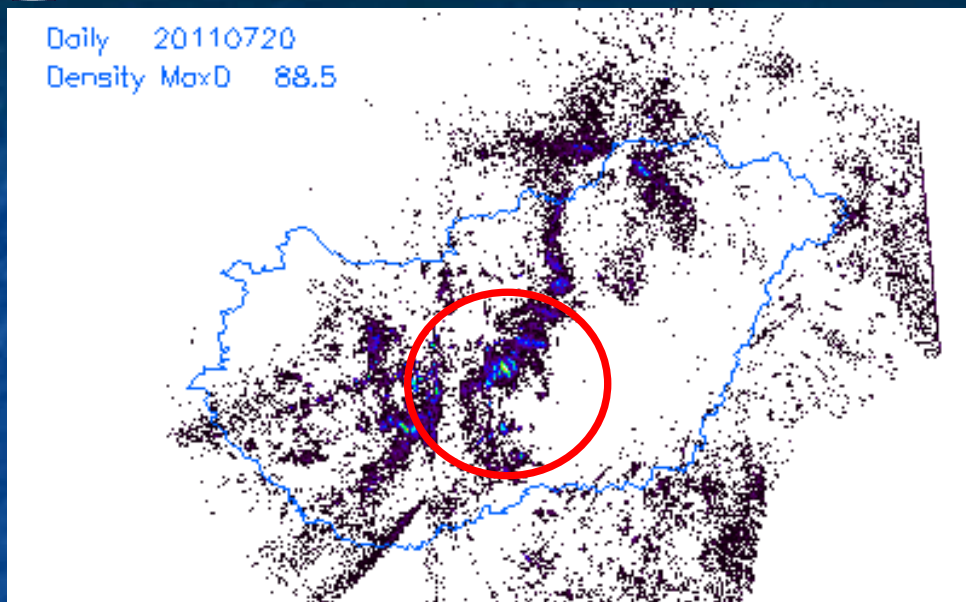


VILLÁMLÁS GYAKORISÁG IDŐBELI LEFOLYÁSA

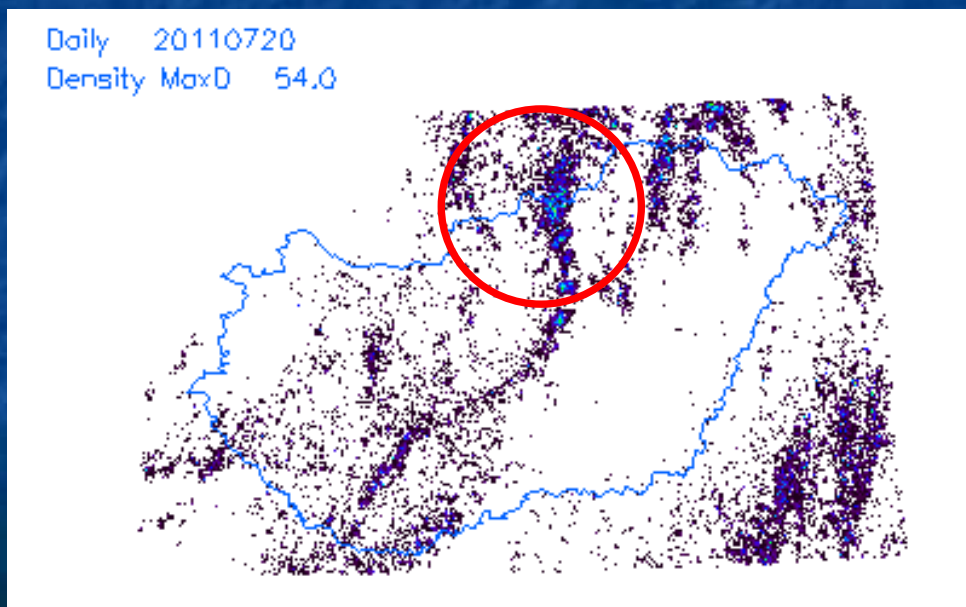


A VHF aktivitás hirtelen megnövekedése egybeesik a max szélökés (30 m/s) idejével 7:30 kor, az IC/CG végig magas marad a szupercella kifejlődése során

VIILLÁMLÁSOK TERÜLETI ELOSZLÁSA



Az IC villámlások (SAFIR – VHF) területi eloszlása egybeesik a szupercella kialakulásának térségével.



A CG villámlások (LINET – LF) területi eloszlása a szupercella kifejlett, „érett” időszakában befutott pályáját tükrözi

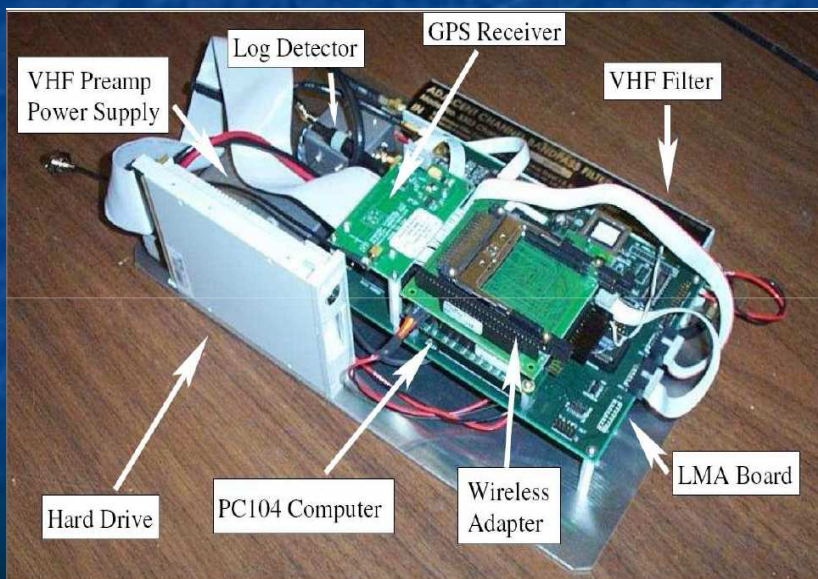
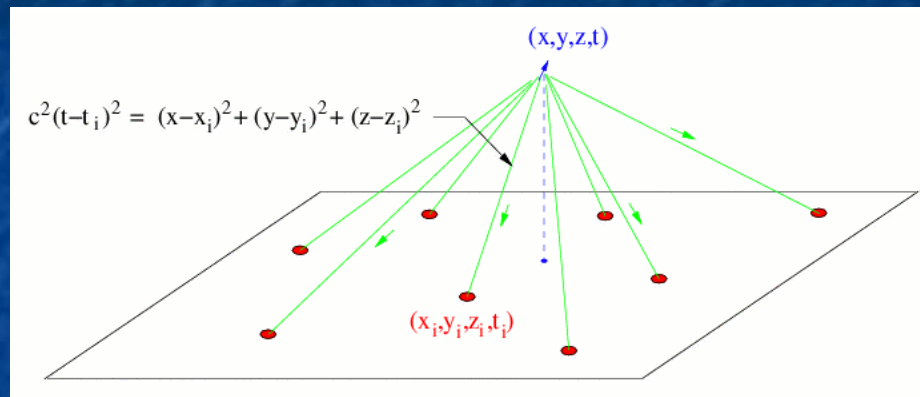
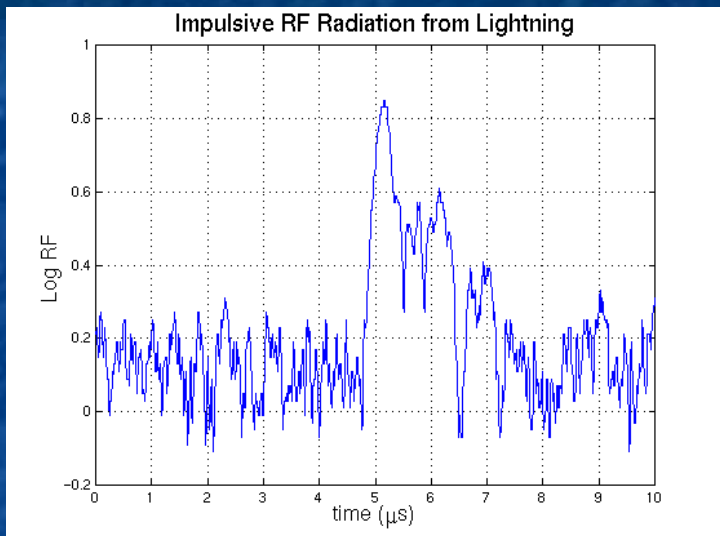


MIÉRT IDŐSZERŰ A KÉRDÉS ?

- - A 1998 óta működő SAFIR egyre nehezebben fenntartható mert 2006 –tól a VAISALA nem biztosít alkatrészt és supportot (DOS központi szoftver !)
- - A kereskedelmi „Total Lightning” rendszerek (VAISALA új LS8000/CP8000 és EarthNet „HTLN” rendszer rendkívül drága kb. 1.2 millió EUR + 10 kEUR/év)
- - Meteorológiai szolgálatok törekednek a „ teljes villámlás aktivitás” megfigyelésre példa:
2012 augusztus: EarthNet nyerte az USA meteorológia szolgálatának NWS tenderét az USA és a Kanada hálózatát működtető VAISALA-val szemben.
- - új technológiák jelennek meg , VHF - TDOA (Time Difference Of Arrival) alapú rendszerek
- LMA – Lightning Mapping Array - egyetemek, Kennedy Space Center
- LMA – mobile - egyetemek

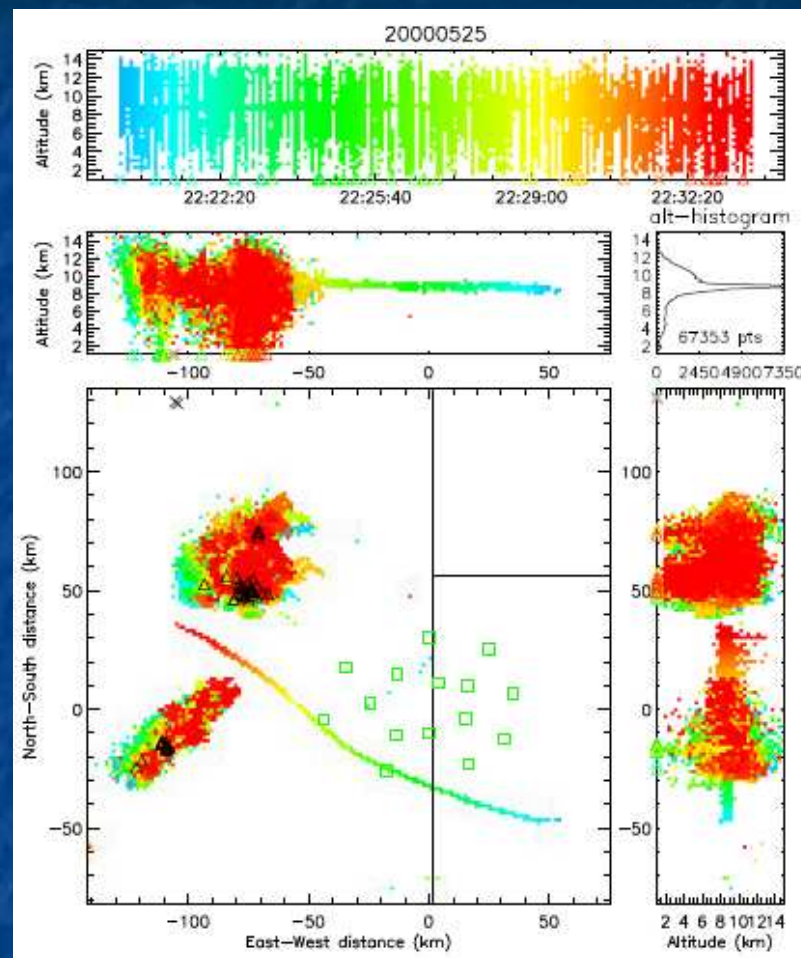
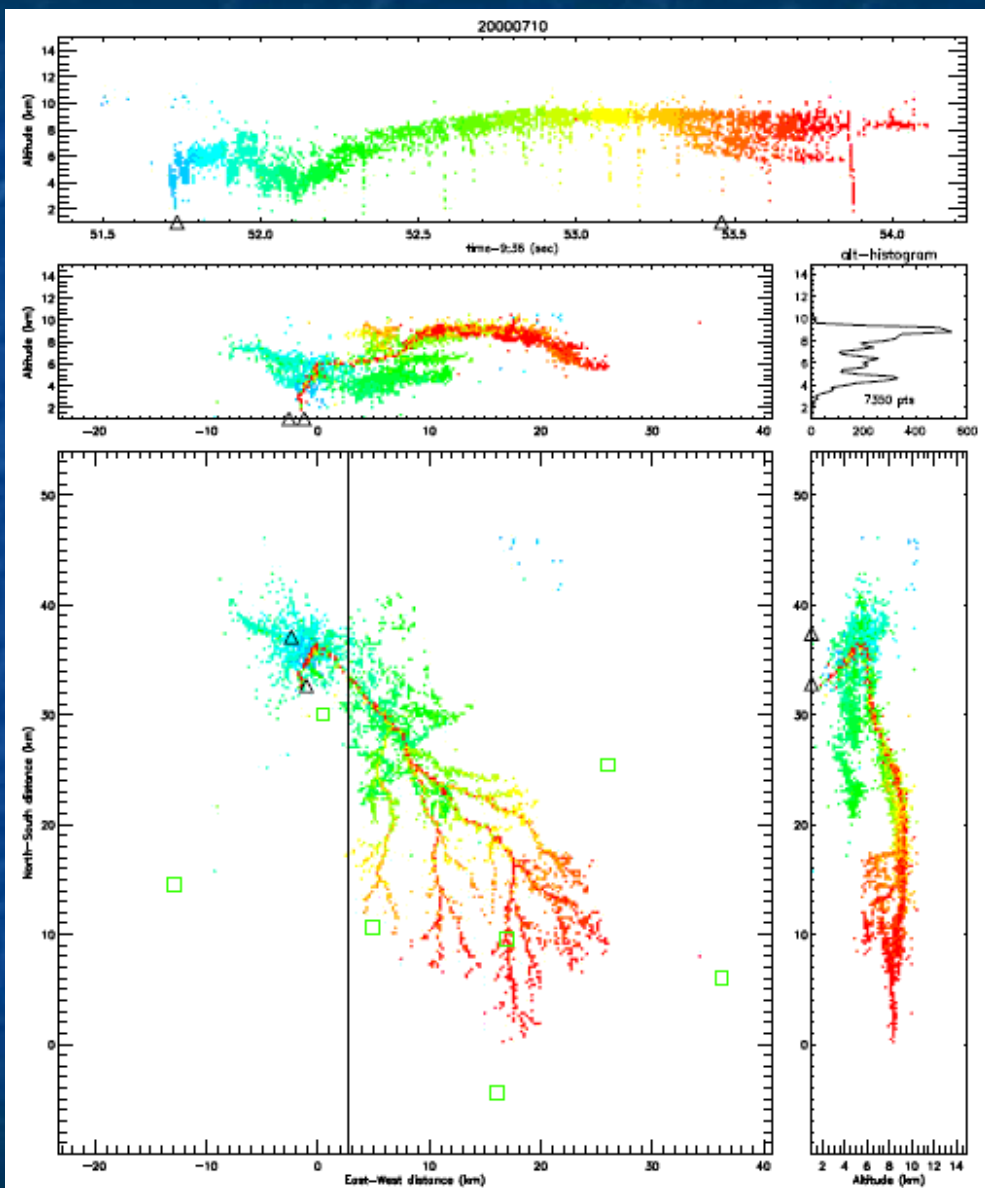
LIGHTNING MAPPING ARRAY – MOBILE

(New Mexico Tech Univ)



- „Hűtőlátásban” elhelyezett mobil szenzorok min 6 db
- 50-120 MHz LOG VHF vevő / 4 MHz sávszél.
- > 10 MHz / 12 bit ADC analog/digital konverzió
- jobb 50 ns abszolút idő szinkron (GPS + oszcillátor).
- Villám „pulzus” jelalak felismerés.
- egy forrásból érkező pulzusok azonosítása.
- lokalizációs egyenletrendszer megoldása 3D-ben (iteratív, non - iterative stb.
- vizualizáció – 3D adatokkal
- source -> branch -> flash -> strokes algoritmusok
- adabázis építés
- alkalmazói rendszerek
- kutatások

LMA MÉRÉSEK



Balra Egy teljes villámlás folyamatának megfigyelése - 7320 pont → 1 flash
Jobbra Zivatar góccokat kerülő repülőgépn nyomon követése – 67325 pont



HAZAI VHF MEGFIGYELÉSEK LEHETŐSÉGE

- A VHF LMA szenzorokhoz minden HW elem kereskedelmi forgalomban, elérhető áron beszerezhető (antenna, VHF vevő, LOG erősítő, tranziens rekorder ADC, GPS modul 10 ns stabilitással, ipari PC vagy mikrokontroller, WIFI LAN modul stb.)
- Szenzor modulok integrálása tesztelése egyetemi közreműködéssel megoldható.
- VHF jelfeldolgozó algoritmusok kifejleszthetők egyetemi ill. saját erőforrásokkal.
- „Core” algoritmusok, mint VHF pulzus felismerés, pulzusok összerendelése és iterative és non-iterative lokalizációs számítások algoritmusait jelenleg fejlesztjük.
- Szimulációs vizsgálatokat végeztünk valós idejű lokalizációs algoritmus kifejlesztéséhez

Követelmény:

- 6 - 8 szenzor adatainak feldolgozása és legalább 10 000 mérési pontra történő számítás 1 másodperc alatt
- Megvalósíthatósági tanulmányterv elkészítése - később



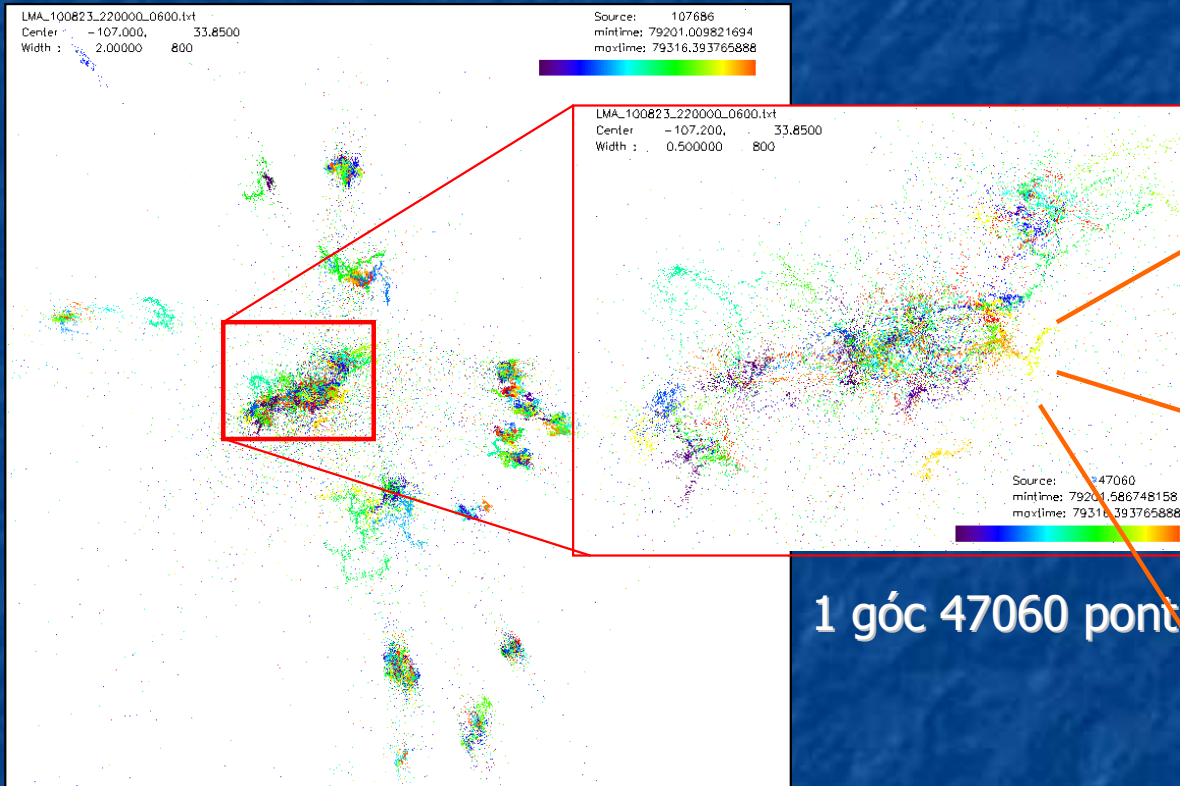
Rendszer magját adó algoritmusok

Jel rögzítése és digitalizálása	HW-függő
Jelek felismerése, összerendelése	HW-függő
TDOA alapú lokalizáció	Független a mérés módjától (használt frekvenciától, detektor jelétől, stb.)



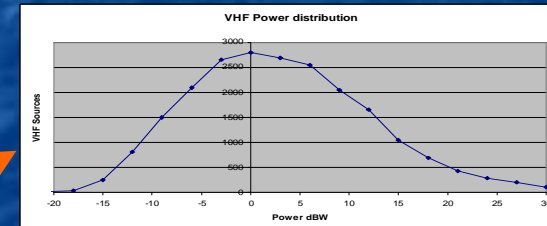
VIZSGÁLATOK - SZIMULÁCIÓK

Adatbázis – valós LMA mérések adatai: USA New Mex Tech – Prof Kreihbel
2010 Aug. 23 22:00:01 UTC (79201.009821694 – 79316.393765888)

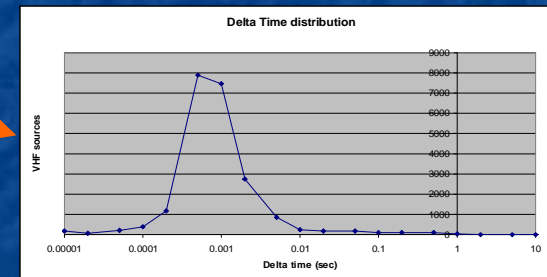


1 góc 47060 pont

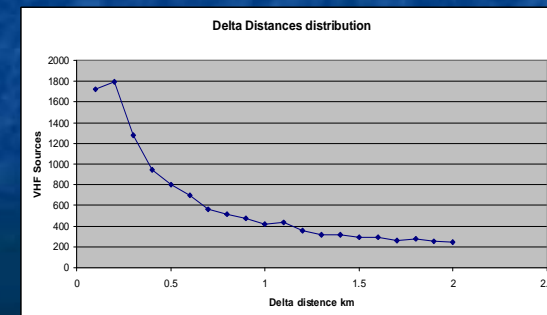
2 perces ablak több mint 10 góc
86100 pont
Cent Pos: -107.00 W, 33.85N
Window: +/- 1 fok, 116 sec
dombai.f@met.hu



átl. jelszint (-5 : 7 dBW)



átl. időköz: 50 : 100 us)



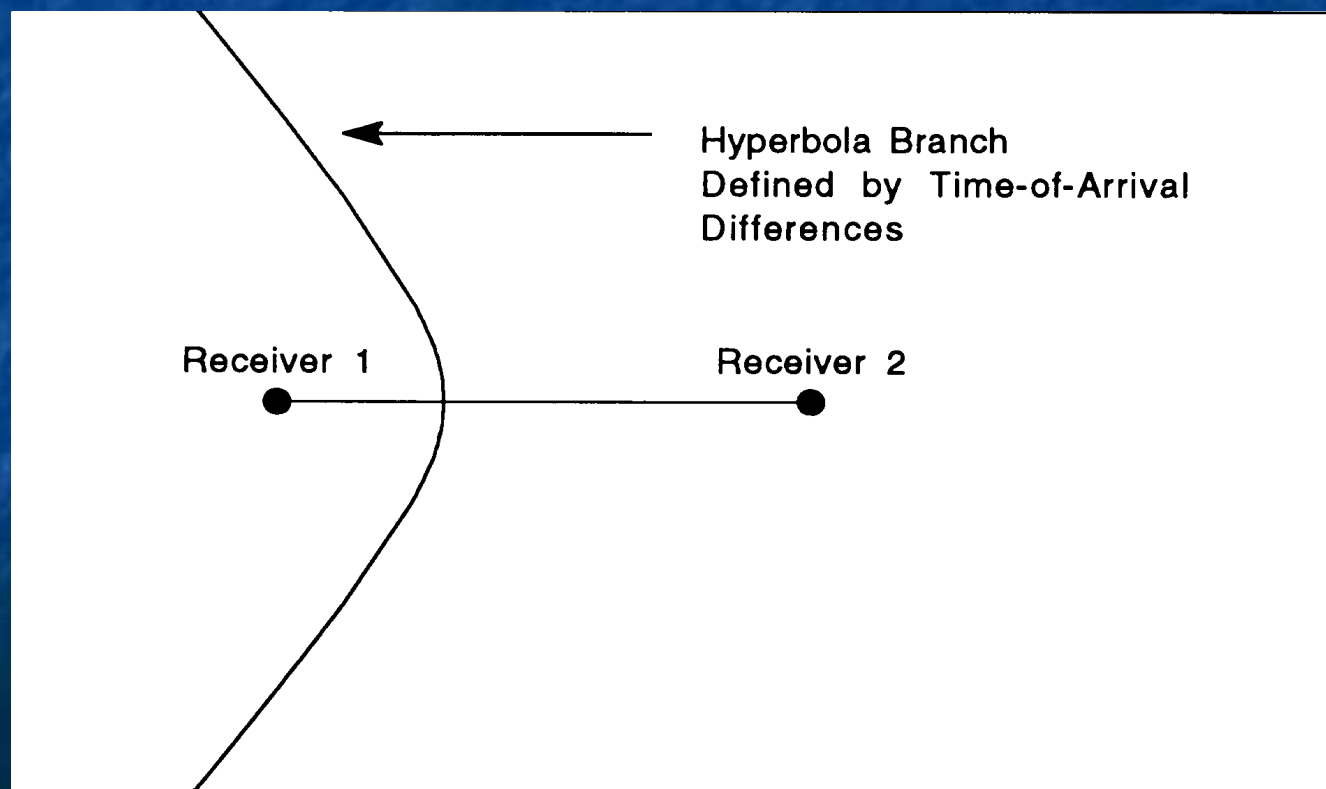
átlagos távolság: 150 : 250 m

Hiperbola alapú helymeghatározás

Időkülönbséggel érkezik meg a jel a detektorokhoz

Időkülönbség \square távolságbeli különbség

Két detektortól adott távolságbeli különbséggel rendelkező pontok: hiperbola

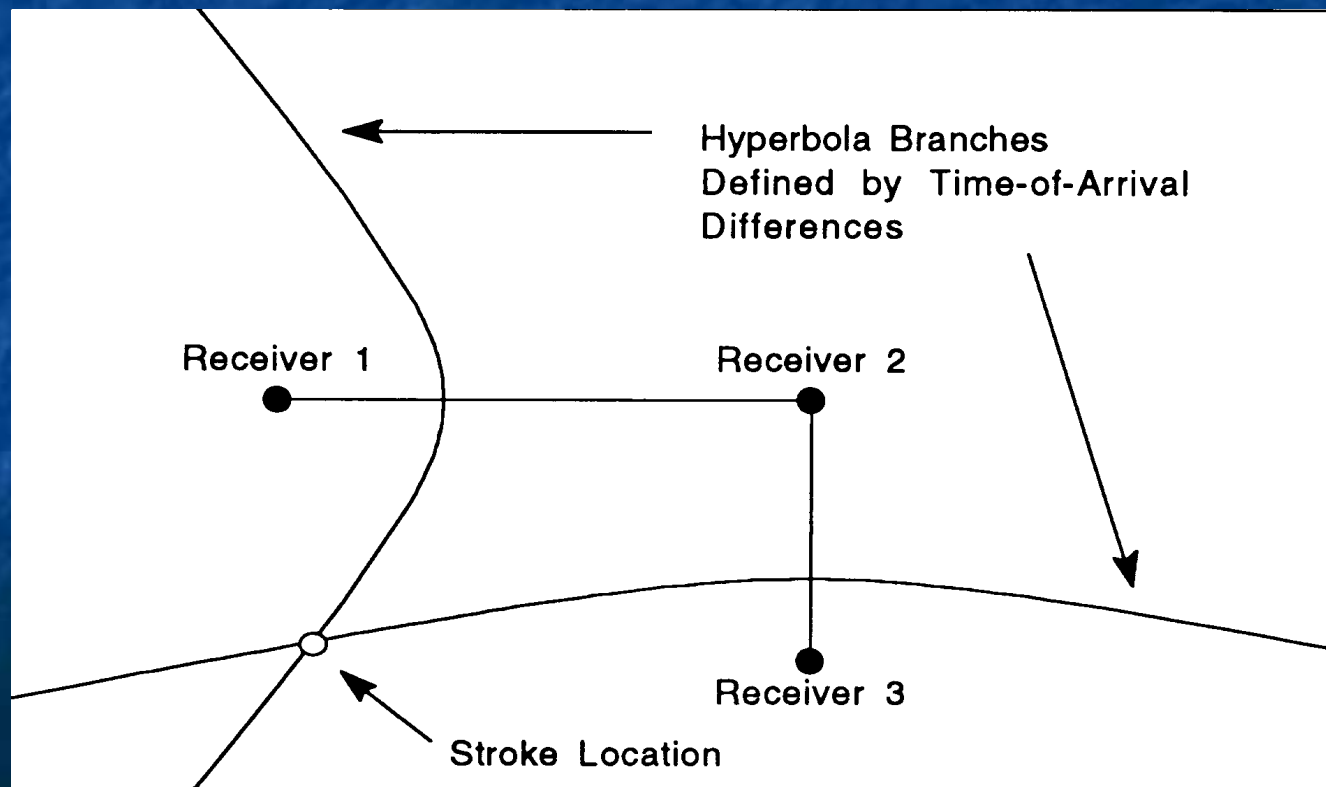


Hiperbola alapú helymeghatározás

Ha 3 detektorunk van:

Másik két detektorpár □ másik, metsző hiperbola

Metszéspon a forrás helye





Hiperbolák metszéspontja

Kiszámítása nemlineáris egyenletrendszer megoldását jelenti, ami nem triviális, de vannak módszerek az egyszerűsítésre.

Olyan módszert kerestünk, ami:

- nem iteratív (gyors, nem téved be lokális minimumba),
- közelíti az optimumot,
- kihasználja a többletinformációt az eredmény pontosítására,
- jó a zajtűrése (olcsóbb detektor)

Chan & Ho módszere*

Első lépés: redundáns mérésekre egy átmeneti változót bevezetve a kapott egyszerű LER megoldásával becsült eredmény

Második lépés: mért értékek eloszlása ismert, ezzel az előző becslés pontosítása

Levezettük 3 térbeli koordinátára a megoldást.

Implementáció:

- C/C++
- “Eigen” nagysebességű lineáris algebra könyvtár
- Grafikus felhasználó felület
- Beállítható tetszőleges számú detektor
- Valós LMA adatok beolvasása illetve generálható teszt-adatforrások

**A Simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location, Y. T. Chan, and K. C. Ho, IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, VOL. 42. NO. 8, AUGUST 1994*

Mérés-szimuláció menete

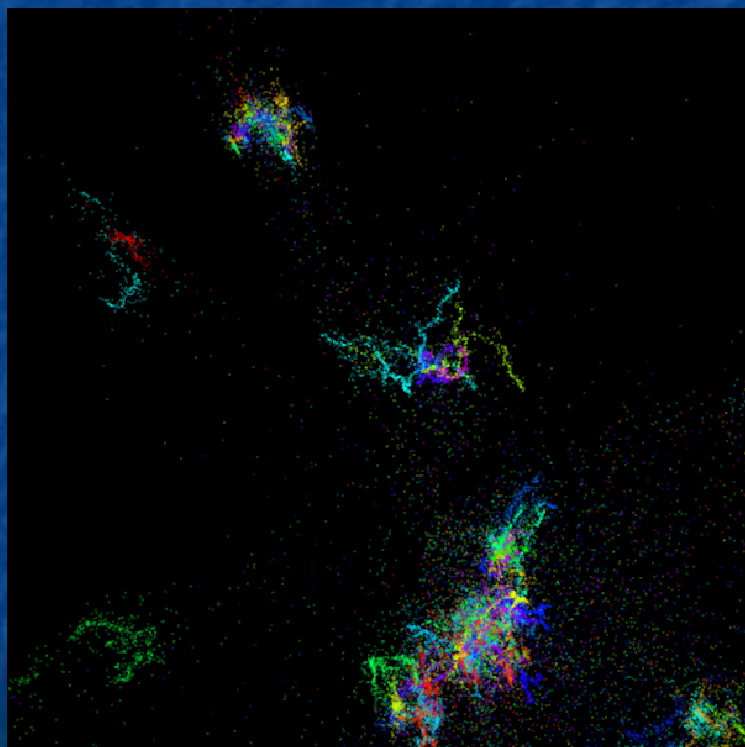
Mért villámposzíciók



számolt TDOA -k (ns)



újraszámolt villámposzíciók



TDOA: -381328
TDOA: -194418
TDOA: 103999



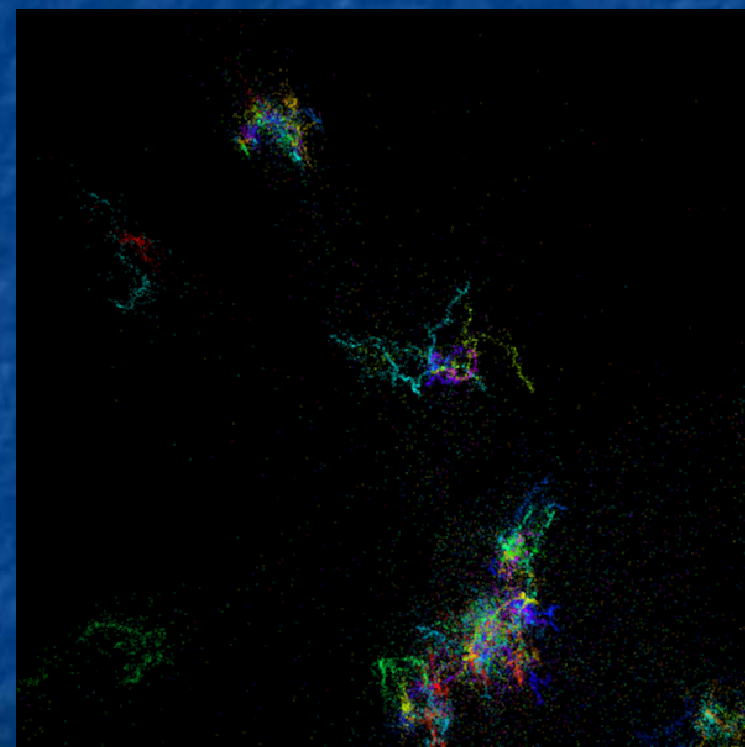
▪

▪

▪



TDOA: -163823
TDOA: -570731
TDOA: -383820





Eredmények

Számítási teljesítmény: ~120 000 pozíció / sec (6 detektor, notebook processzoron, egy végrehajtási szál)

Latitude	Longitude	Altitude	N
33	-107	0	1
34	-107	0	2
32	-106	0	3
33	-108	0	4
34	-106	0	5

Type: File
Error: 0.00 ns

ing/program/data/LMA_100823_220000_0600_head.txt

TDOA data generated.
max_delta_x: 61.1428
max_delta_y: 363.544
max_delta_z: 79.0554
events processed: 61622
time elapsed: 564 msec

Original position data

Calculated positions



Eredmények

Program 3D villámpozíció rekonstruálásához

Latitude	Longitude	Altitude	No
33	-107	0	1
34	-107	0	2
32	-106	0	3
33	-108	0	4
34	-106	0	5

Type: File
Error: 0.00 ns

ing/program/data/LMA_100823_220000_0600_head.txt

TDOA data generated.
max_delta_x: 61.1428
max_delta_y: 363.544
max_delta_z: 79.0554
events processed: 61622
time elapsed: 564 msec

Original position data

Calculated positions



Eredmények

Program 3D villámpozíció rekonstruálásához

Latitude	Longitude	Altitude	No
33	-107	0	1
34	-107	0	2
32	-106	0	3
33	-108	0	4
34	-106	0	5

Type: File
Error: 0.00 ns

ing/program/data/LMA_100823_220000_0600_head.txt

TDOA data generated.
max_delta_x: 61.1428
max_delta_y: 363.544
max_delta_z: 79.0554
events processed: 61622
time elapsed: 564 msec

Original position data

Calculated positions

Eredmények

Program 3D villámpozíció rekonstrukálásához

Latitude	Longitude	Altitude	No
33	-107	0	1
34	-107	0	2
32	-106	0	3
33	-108	0	4
34	-106	0	5

Type: File
Error: 0.00 ns

ing/program/data/LMA_100823_220000_0600_head.txt

TDOA data generated.
max_delta_x: 61.1428
max_delta_y: 363.544
max_delta_z: 79.0554
events processed: 61622
time elapsed: 564 msec

Original position data

Calculated positions



Eredmények

Program 3D villámpozíció rekonstrukálásához

Latitude	Longitude	Altitude	No
33	-107	0	1
34	-107	0	2
32	-106	0	3
33	-108	0	4
34	-106	0	5

Type: File
Error: 0.00 ns

ing/program/data/LMA_100823_220000_0600_head.txt

TDOA data generated.
max_delta_x: 61.1428
max_delta_y: 363.544
max_delta_z: 79.0554
events processed: 61622
time elapsed: 564 msec

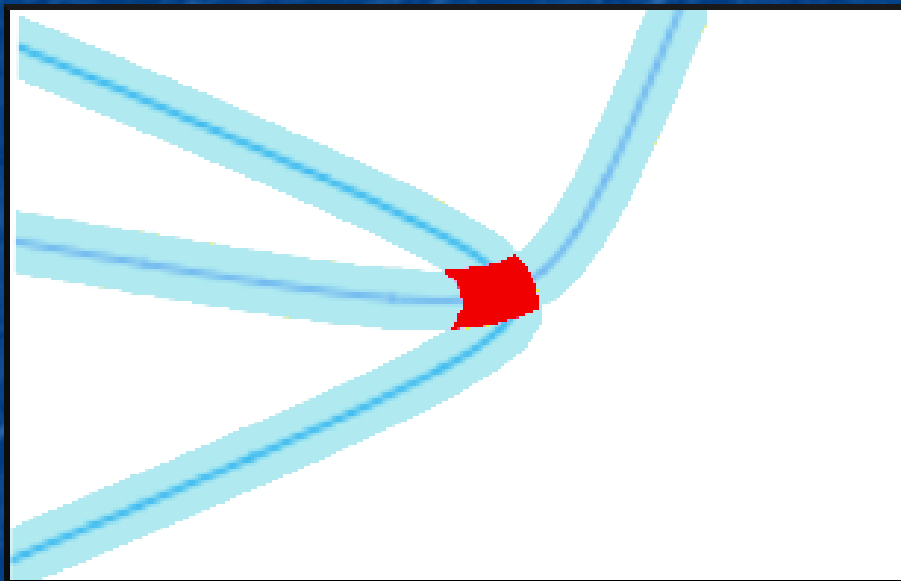
Original position data

Calculated positions

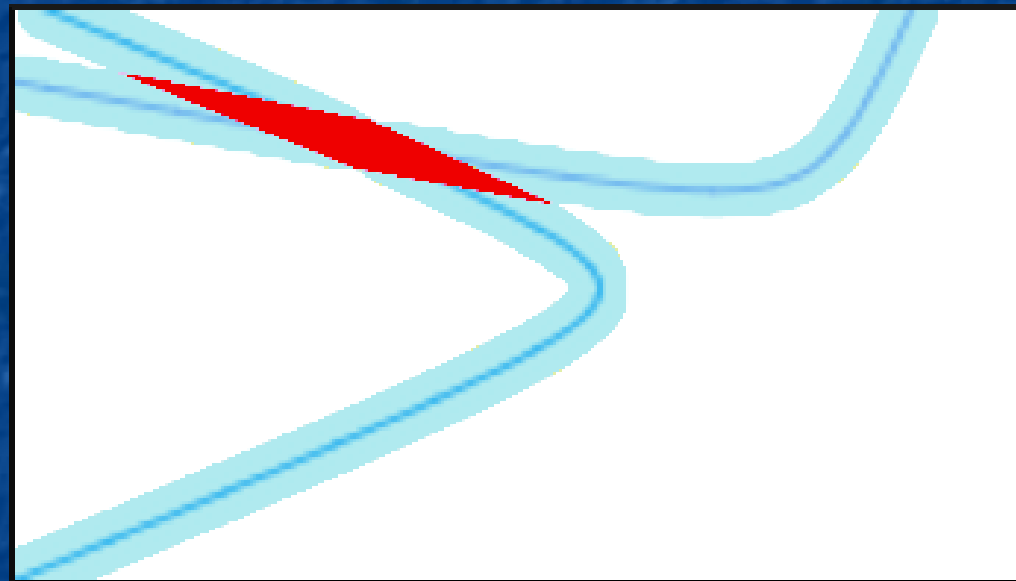
Hibaforrások

Detektorban időszinkron bizonytalansága □ detektor hiba

Geometriai elrendezés hatása a 3D rekonstrukció hibájára:



Metszéspontban érintők közel merőlegesek □ hiba nem nő

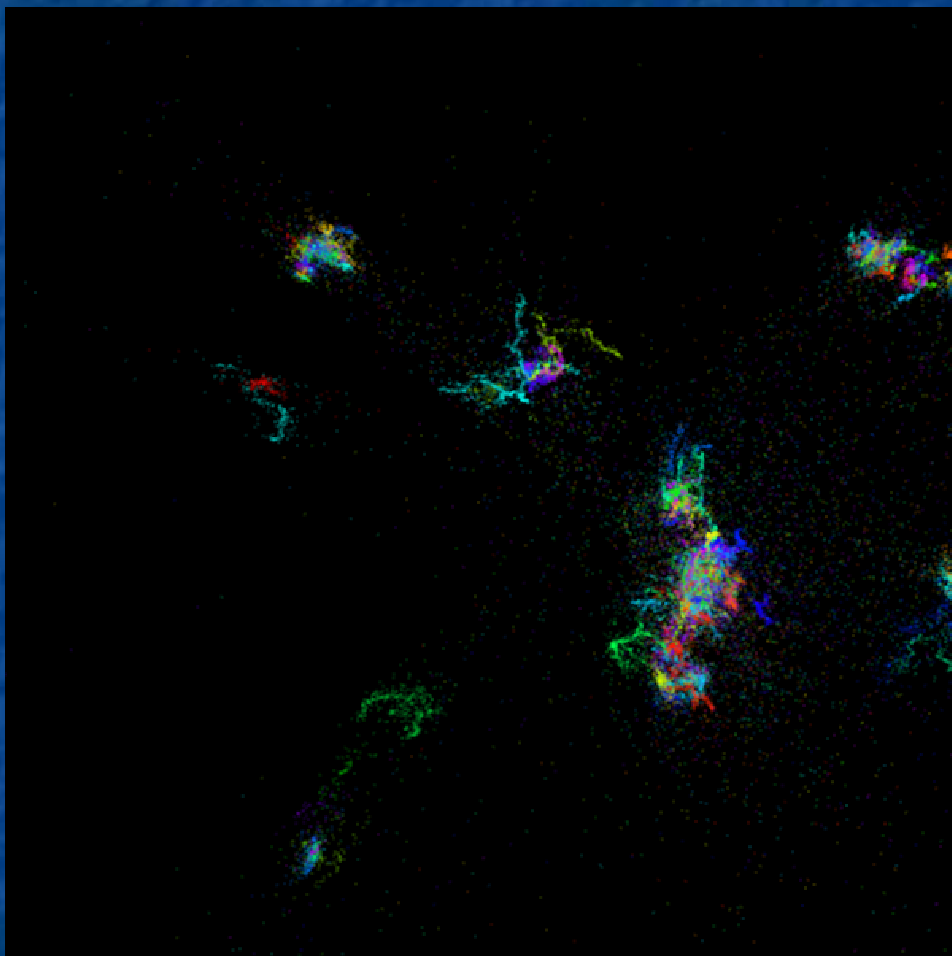


Metszéspontban érintők kis szöget zárnak be □ hiba nő

3 dimenzióban, egy síkban elhelyezkedő detektoroknál a síkra merőlegesen jelentkezhet

Detektor hiba hatása

Fölülről



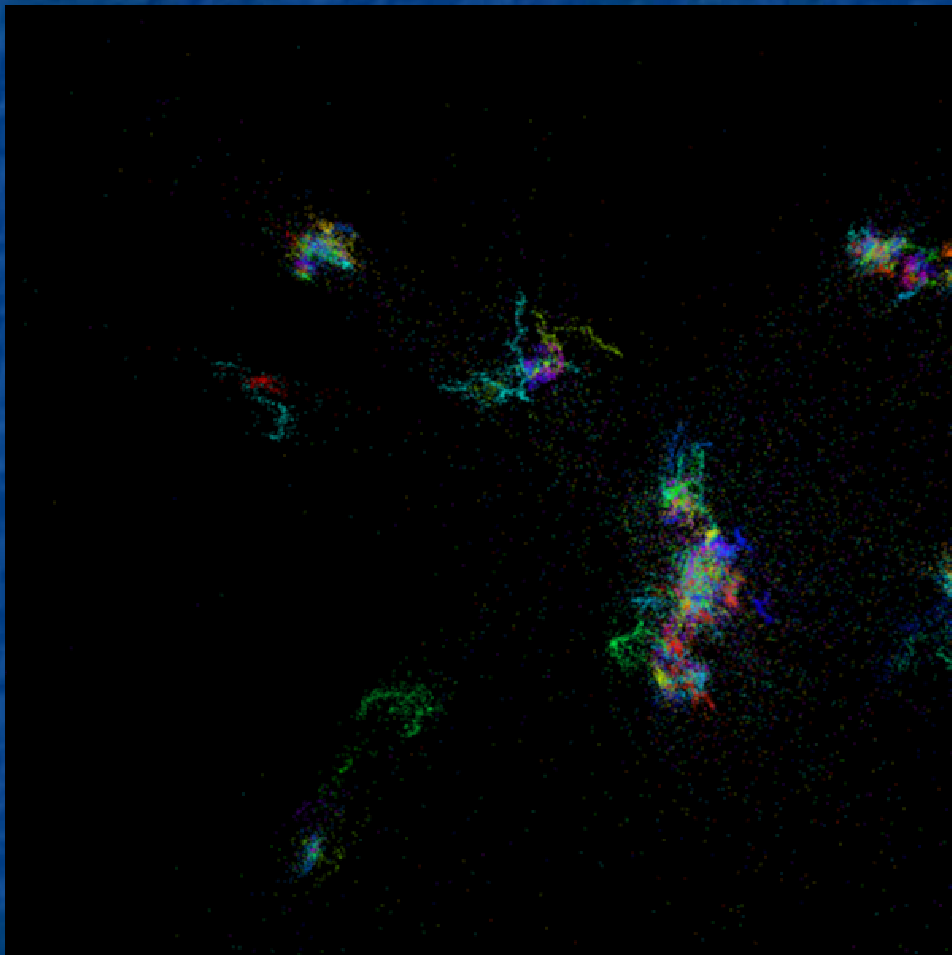
Oldalról



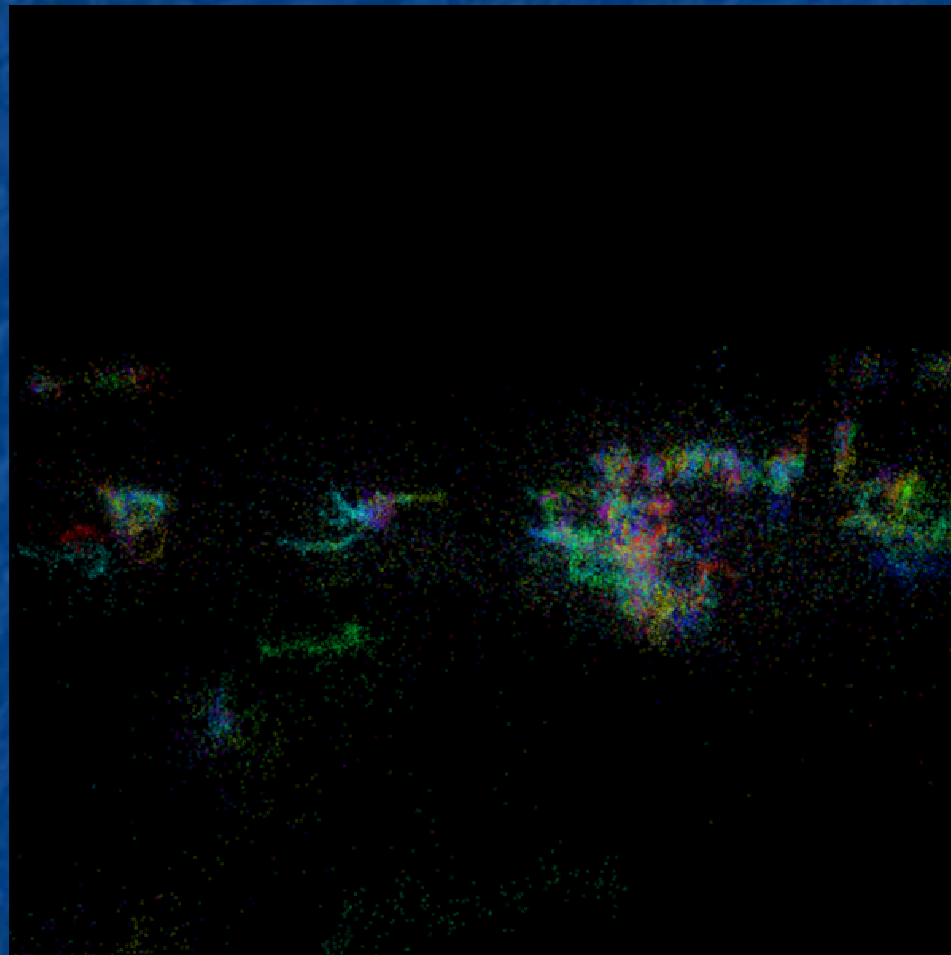
TDOA hiba szórása: 0ns
Átlagos pozíció hiba (m): 16.6472

Detektor hiba hatása

Fölülről



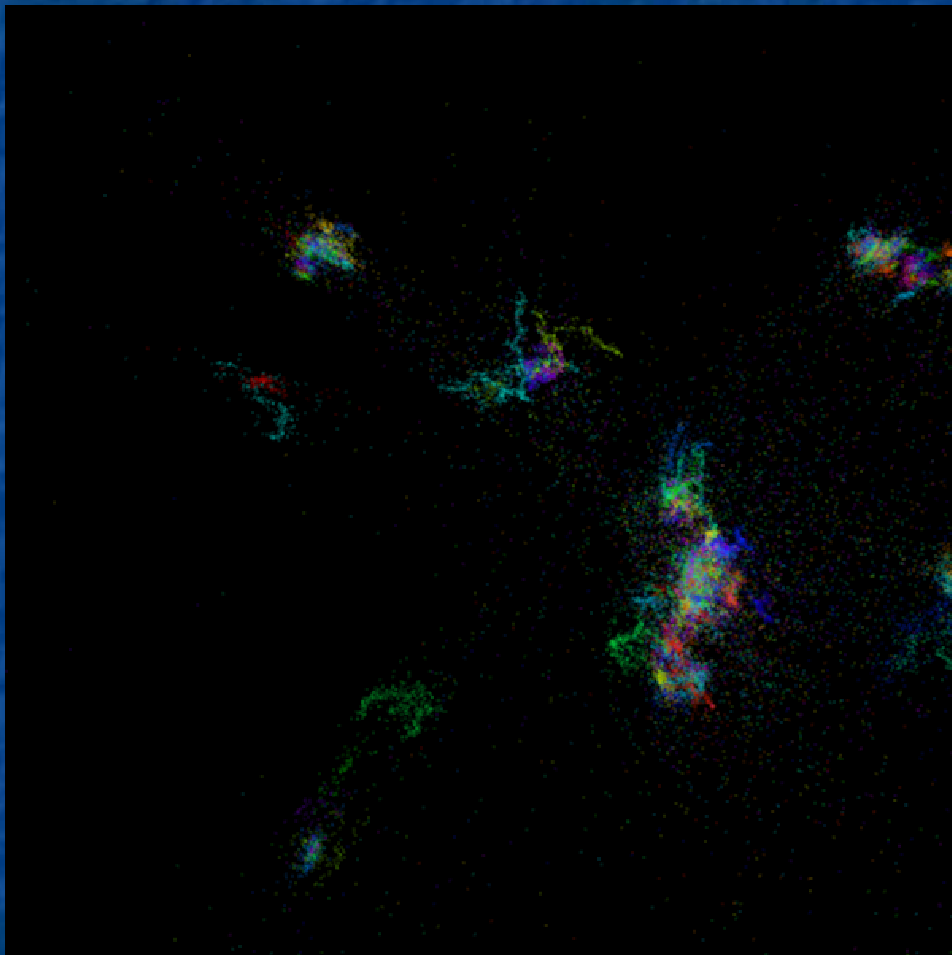
Oldalról



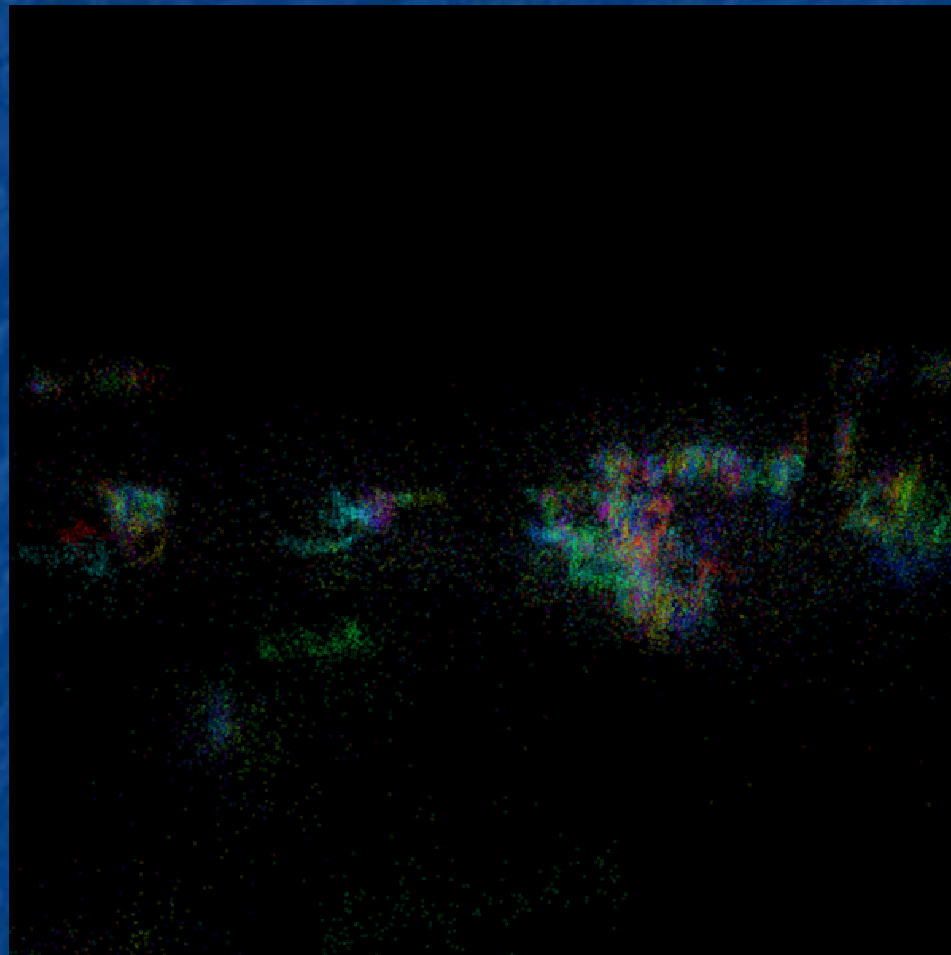
TDOA hiba szórása: 5ns
Átlagos pozíció hiba (m): 206.47

Detektor hiba hatása

Fölülről



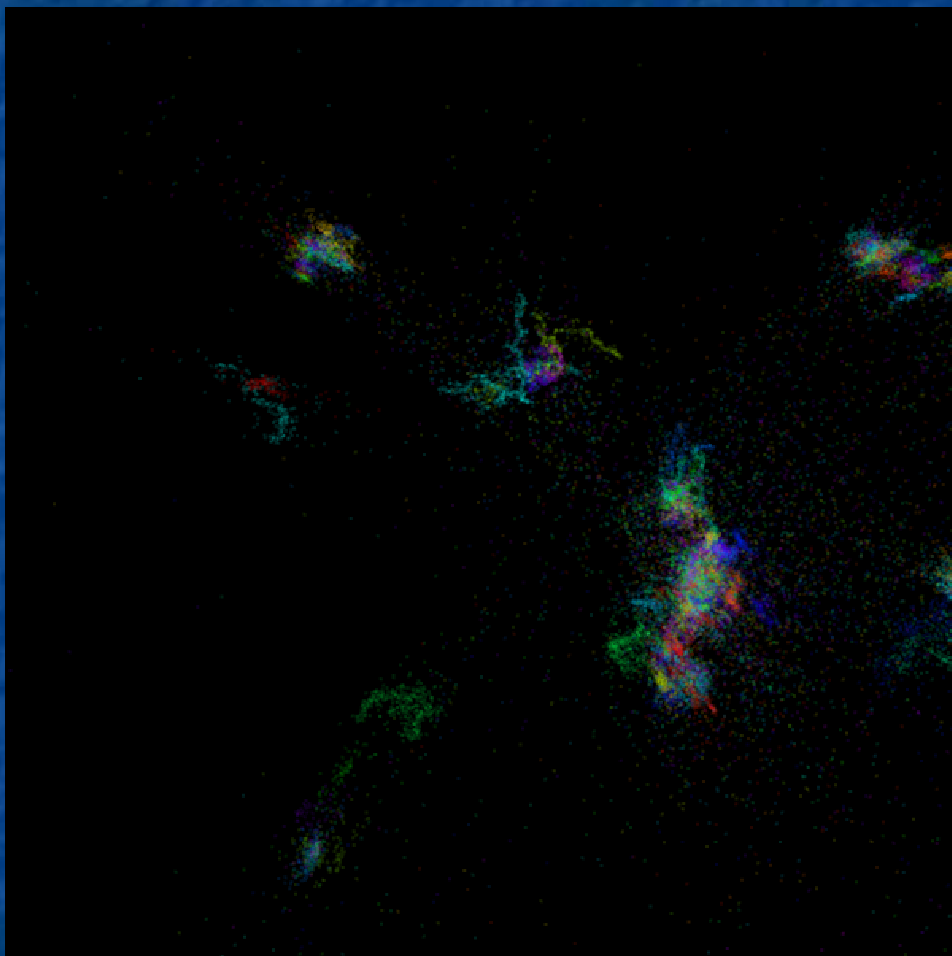
Oldalról



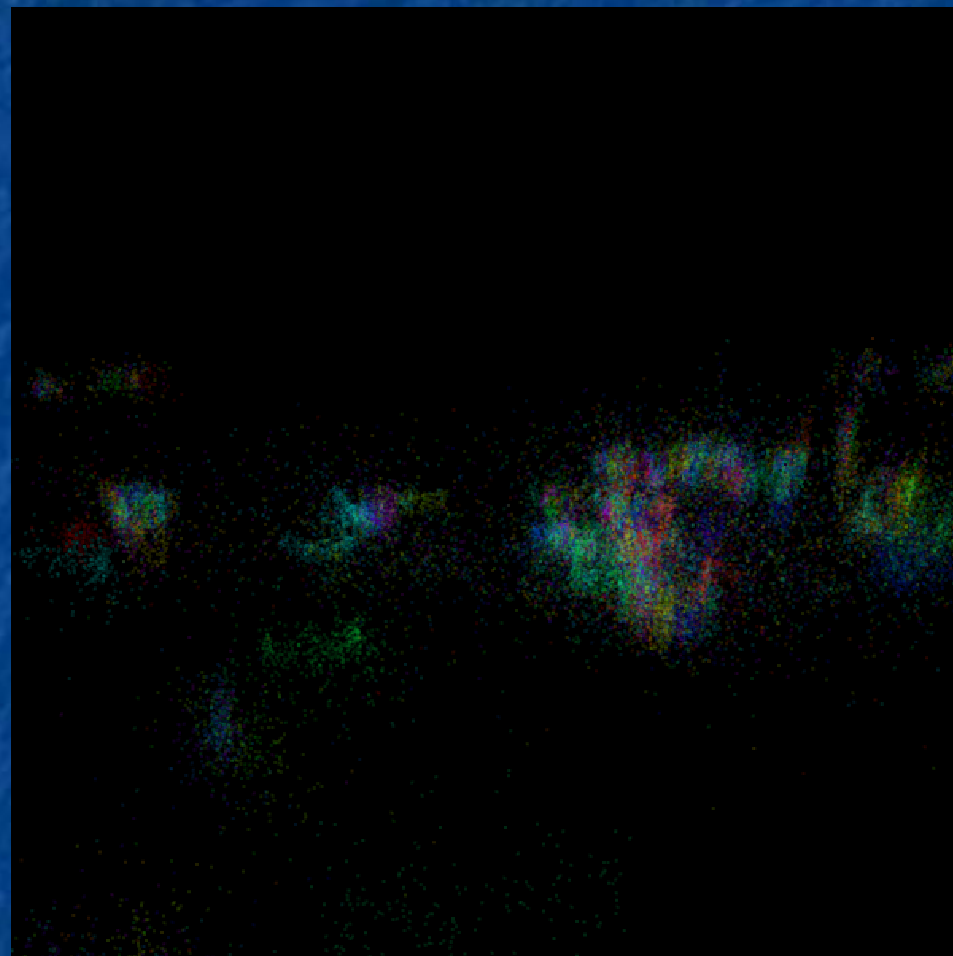
TDOA hiba szórása: 10ns
Átlagos pozíció hiba (m): 413.63

Detektor hiba hatása

Fölülről



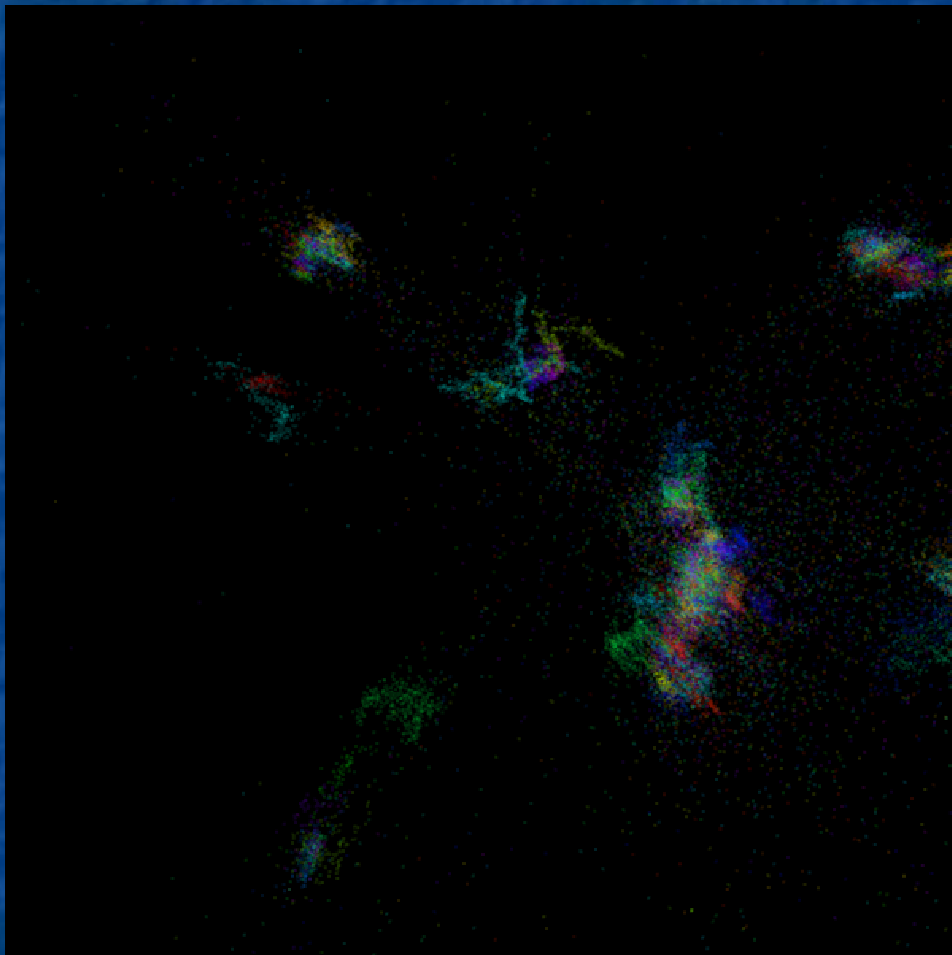
Oldalról



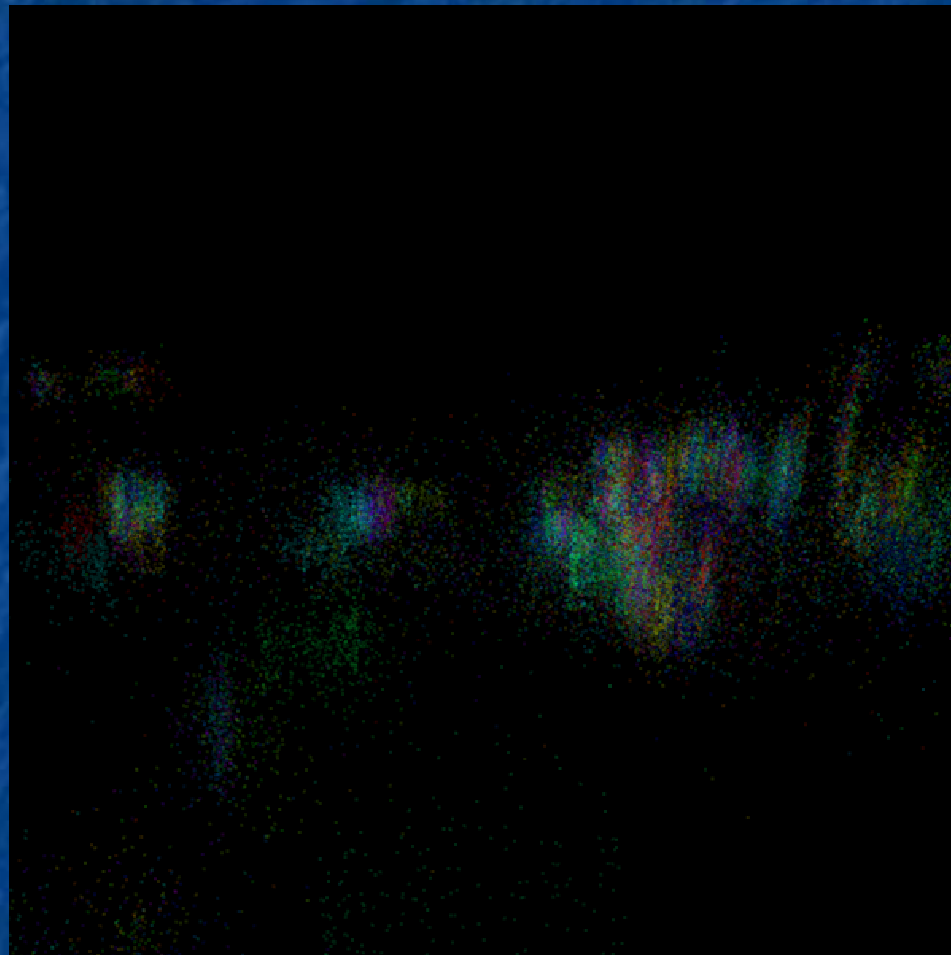
TDOA hiba szórása: 20ns
Átlagos pozíció hiba (m): 818.058

Detektor hiba hatása

Fölülről



Oldalról



TDOA hiba szórása: 40ns
Átlagos pozíció hiba (m): 1653.6



Optimalizálás

Detektorok

Detectors Lightning Result

Latitude	Longitude	Altitude	Name
50	15	0	1
50.4	15	200	4
50	15.4	0	6655f
50.2	15.2	8888	dde

Map showing the location of the detectors in Europe.

Források

Detectors Lightning Result

Type: Uniform

Error: 10.00 ns

X_{min}: 82500.00 X_{max}: 87500.00

Y_{min}: 42500.00 Y_{max}: 47500.00

Z_{min}: 1000.00 Z_{max}: 6000.00

Generate Calculate

3D plots showing the distribution of sources in the y-z and x-z planes.

Számított pozíciók és hibák

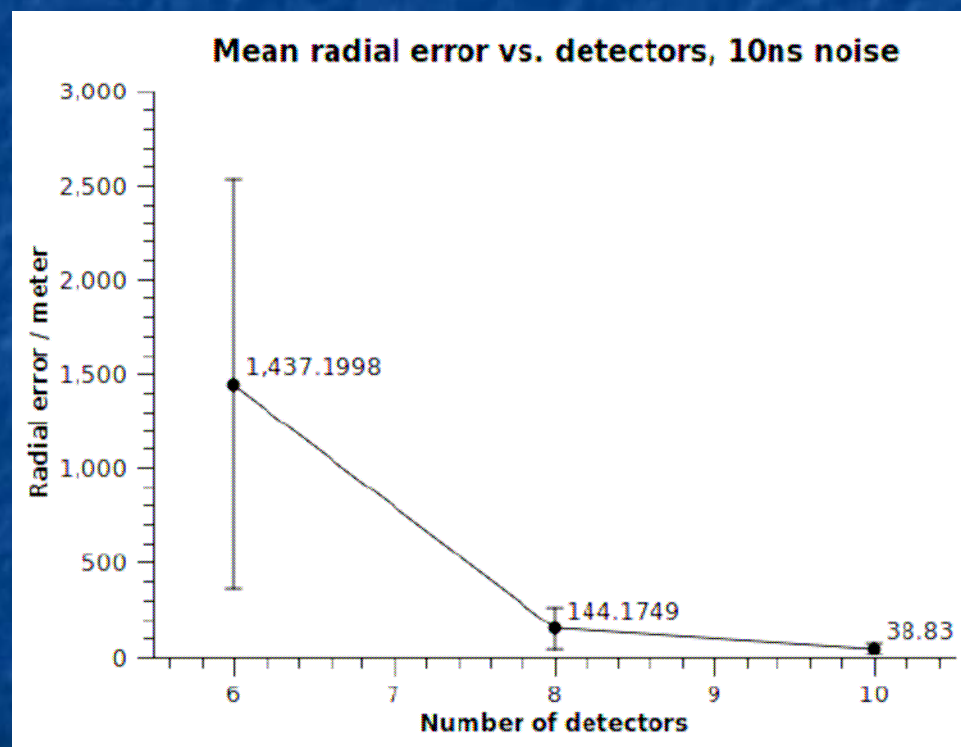
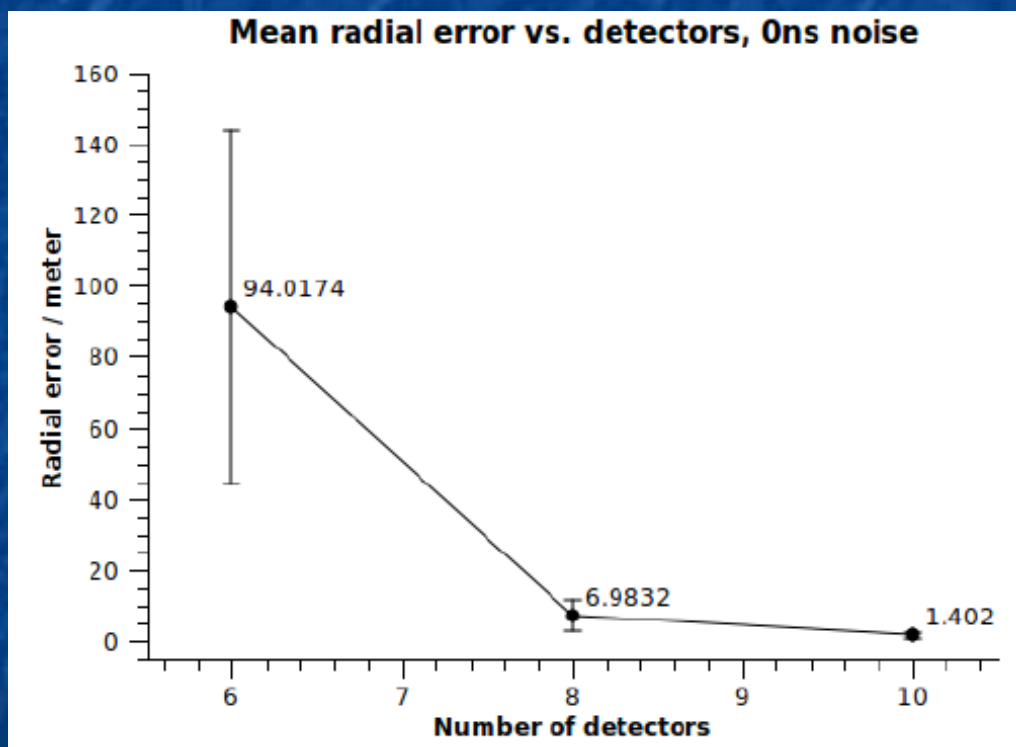
Detectors Lightning Result

3D plot showing the calculated positions and errors of the lightning strikes, represented by a dense grid of green lines.

Detektorok száma

Szimulációval igazoltuk, hogy Chan és Ho módszerénél a redundáns mérések tényleg csökkentik a hibát.

0 ns és 10 ns detektorhiba mellett is drasztikusan csökken a helymeghatározási hiba már egy-két detektor beiktatásával:





Helyzetmeghatározási szimulációk fontosságáról

Megtervezhető az optimális detektor elrendezés.

Meghatározható kívánt lokalizációs pontosság eléréséhez a hardware –rel szemben támasztott igény.

Meghatározható egy adott hardware –hez szükséges detektor-szám.

Remélhetőleg az első lépés egy majdani VHF-TDOA detektorhálózat megépítése felé.



Köszönöm a figyelmet!