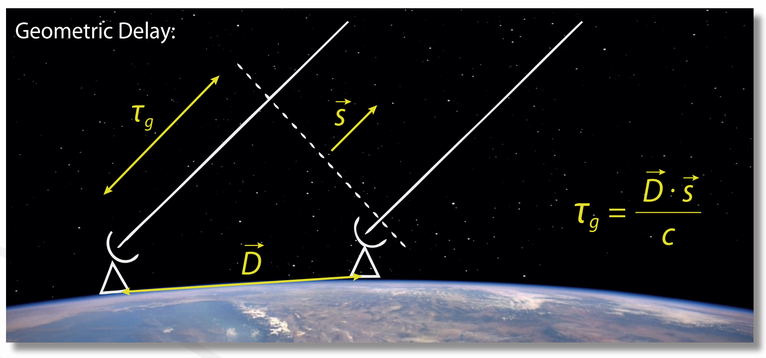
RÁDIÓ-INTERFEROMETRIA – VLBI (VERY LONG BASELINE INTERFEROMETRY)

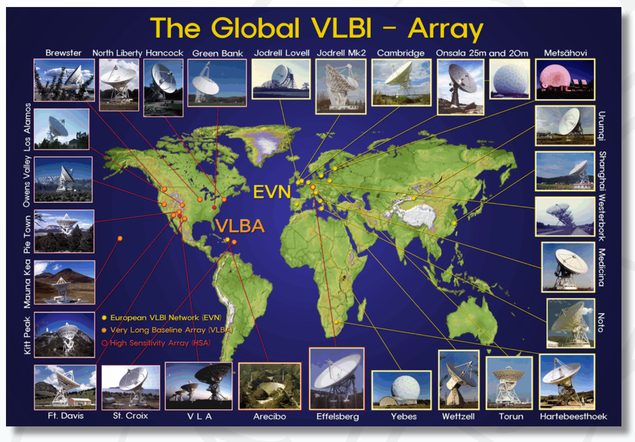
A VLBI működési elve

A nagyon hosszú bázisvonalú interferometria (angolul: Very Long Baseline Interferometry, VLBI) egy, az 1960-as évek végén kifejlesztett rádiócsillagászati megfigyelési technika. Lényege, hogy egyidőben, azonos égi rádióforrást több, egymástól távoli rádióteleszkóppal figyelnek meg. A jeleket mágneses adathordozókra (korábban szalagokra, újabban mágneslemezekre) rögzítik. Ezeket összegyűjtik, és egy központi helyen, a korrelátorban visszajátsszák. A speciális számítógép segítségével áll elő – utólag – az interferencia. Legújabban elterjedőben van az elektronikus VLBI (e-VLBI), ahol a távoli antenákat és a korrelátort széles sávú optikai kábelek kötik össze, valós idejű interferometriát téve lehetővé.

Az interferométeres módszer előnye, hogy a képalkotás szögfelbontását nem az antennák mérete, hanem a köztük levő távolság (az ún. bázisvonal hossza) határozza meg. Ez a Földön akár több ezer kilométer is lehet. A technika asztrofizikai alkalmazásai közül a legfontosabb a Tejútrendszerben és a távoli galaxisokban található fényes, kompakt rádióforrások nagy részletességű feltérképezése. A VLBI egyben fontos geodéziai és geofizikai mérési módszer is. Segítségével nagy pontossággal meghatározható a Föld forgása a távoli aktív galaxismagokhoz (kvazárokhoz) rögzített vonatkoztatási rendszerben, vagy a Föld kőzetlemezeinek tektonikus mozgása.



Egy VLBI bázisvonal két végén levő antennákra ugyanaz a rádiójel – a távoli rádióforrás irányától (s) és a bázisvonal irányától (D) függően – eltérő időpontokban érkezhet be. Ez a késés és annak időbeli változása a geodéziai VLBI alapvető mérési mennyiségei. (Kép: A. Brunthaler)

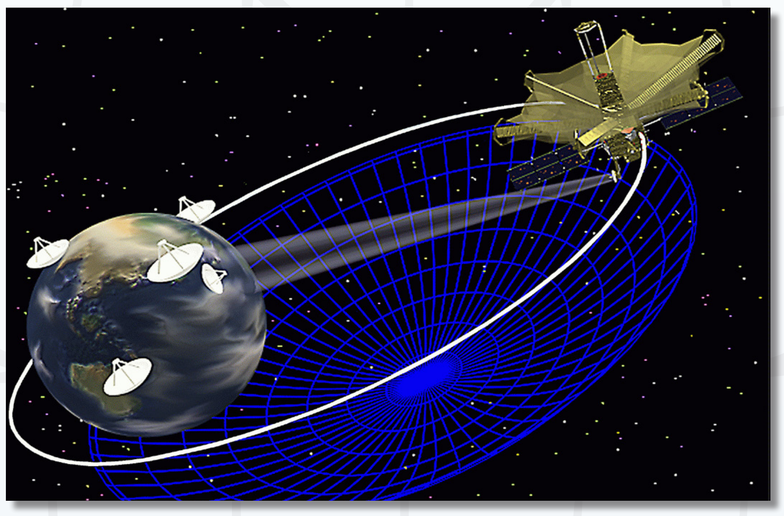


A VLBI a globális geodézia szolgálatában

A tőlünk több milliárd fényévre levő, gyakorlatilag mozdulatlannak tekinthető aktív galaxismagok (kvazárok) egy, az inerciarendszert legjobban megközelítő vonatkoztatási rendszert jelölnek ki. Nagy számú kvazárra, sok bázisvonalon végzett, gyakori időkésés-mérések alapján a VLBI nem csak az antennák pontos földi pozícióját képes meghatározni, hanem követni tudja a Föld forgásának (a tengely irányának vagy a nap hosszának) apró változásait is. Évek, évtizedek során folytatott pozíciómérések alapján következtethetünk az antennákat magukon „hordozó" kőzetlemezek elmozdulására vagy helyi deformációira. A VLBI időkésés-mérések pontossága és a kifinomult – pl. a földforgást, a rádióhullámok légköri terjedését leíró – fizikai modellek néhány milliméteres precizitású relatív távolságmeghatározást tesznek lehetővé, akár kontinenseket összekötő bázisvonalakon. A kompakt rádióforrások helye az égbolton az ezred-ívmásodperc töredékének megfelelő pontossággal állapítható meg (VLBI asztrometria). *Balra: A VLBI antennák behálózzák az egész Földet. (Kép: T. Krichbaum)*

Űr-VLBI

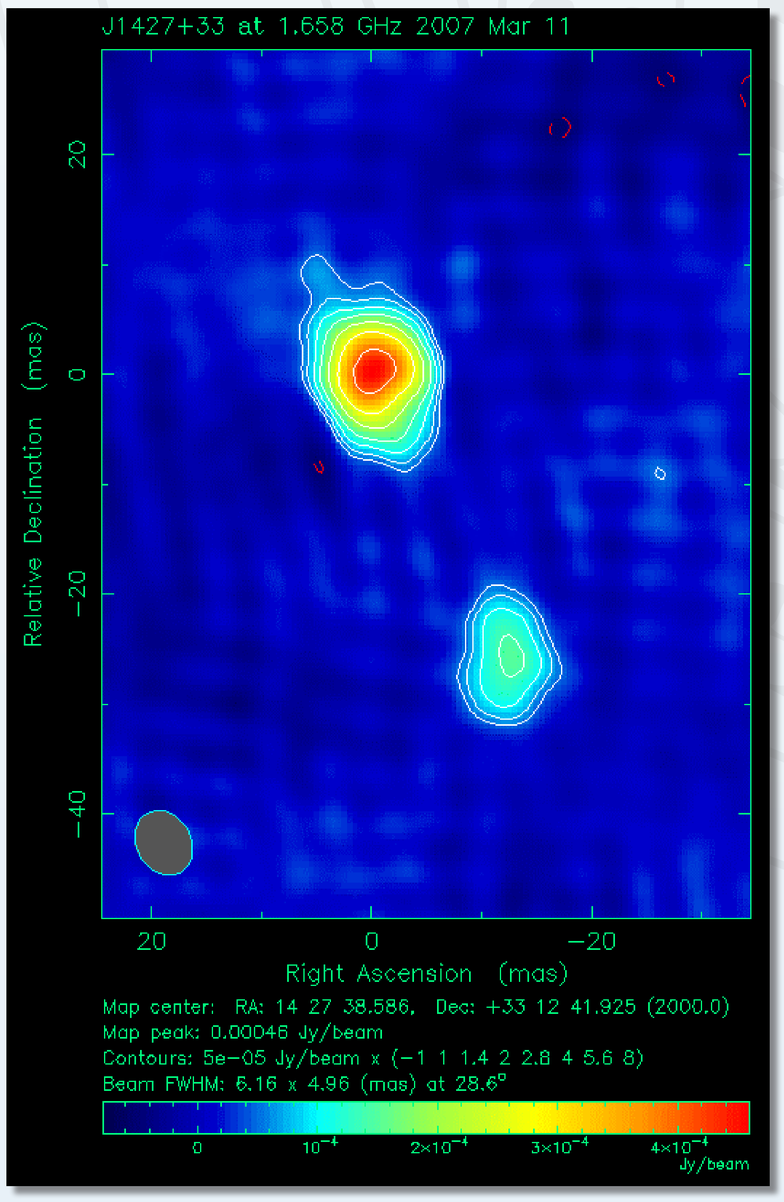
Az űr-VLBI a rádióteleszkóp-hálózat egyik elemének a Föld körüli pályára juttatásával jelentősen megnöveli a létrehozható bázisvonalak hosszát. (A földi antennák esetén ezt bolygónk véges mérete természetesen korlátozza.) A mesterséges holdról földi követőállomások révén juthatunk az adatokhoz, amelyek szintén mágneses adathordozókra, majd a többi antennánál rögzített adatokkal együtt a korrelátorba kerülnek. A bázisvonalhossz növelésének célja a még finomabb szögfelbontás elérése. Az első, űr-VLBI céljára felbocsátott mesterséges hold (jobbra) a japán VSOP program keretében a HALCA volt (1997). Az orosz RadioAstron űr-VLBI mesterséges holdat több évtizedes előkészítés után, 2011-ben állították pályára.



A japán VSOP űr-VLBI programban a HALCA műholdon elhelyezett antenna és a földi VLBI hálózat együtt egy akkora képzeletbeli rádióteleszkópot alkotott, amelynek mérete a Föld átmérőjét közel háromszorosan meghaladta. (Fantáziakép: ISAS / JAXA)

Űr-VLBI: geodézia alkalmazások

Bár a technikát eredetileg csillagászati megfigyelések céljára dolgozták ki, de vannak potenciális geodéziai, geofizikai alkalmazásai. Ezek elméleti kutatásában a KGO munkatársai az 1980-as évektől kezdve nemzetközi szinten is úttörő szerepet játszottak. Az űr-VLBI elvben alkalmas lehet a geocentrikus földi és égi vonatkoztatási rendszerek közvetlen összekapcsolására, a földi antennák geocentrikus pozíciójának meghatározására és az űr-VLBI mesterséges holdak pályameghatározásának pontosítására is. A gyakorlatban mindezt egyelőre számos technikai nehézség akadályozza, de ezek az esetleges jövőbeli űr-VLBI programok tervezésénél figyelembe vehetők.

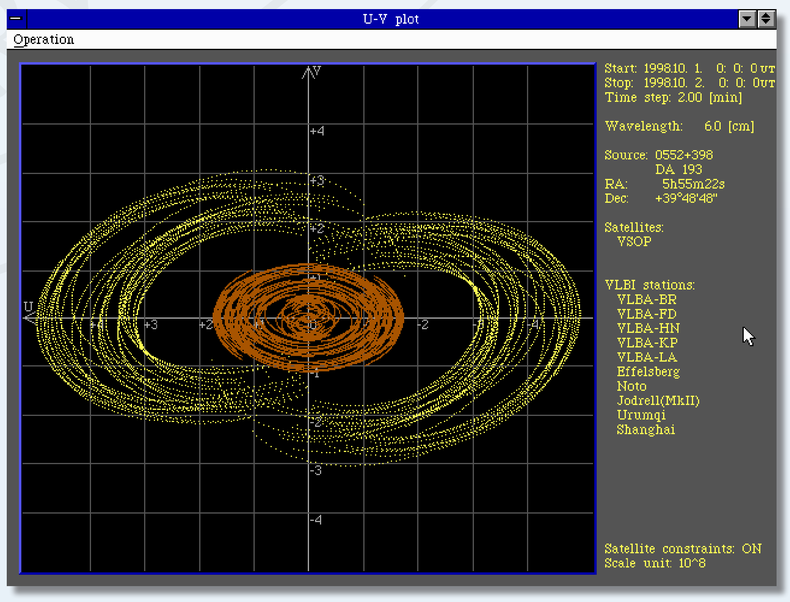


VLBI eredményeink

A KGO VLBI kutatásokkal foglalkozó csoportja – nemzetközi együttműködésben, számos pályázaton elnyert támogatással – tudományos programjaihoz rendszeresen használta és használja az európai (EVN) és az amerikai (VLBA) földi rádióteleszkóp-hálózatokat. A japán VSOP űr-VLBI programban is aktívan részt vettünk. Fő kutatási témáink: távoli kompakt rádiósugárzó aktív galaxismagok (kvazárok) felmérései és egyedi vizsgálatai, az SS 433 jelű, galaktikus rádiósugárzó röntgenkettőscsillagrendszer kutatása, az égi vonatkoztatási rendszert kijelölő kvazárok pozíciós stabilitásának vizsgálata.

Balra:
A világegyetem akkor ismert legtávolabbi rádiósugárzó kvazárjának (neve J1427+3312, színképvonalainak vöröseltolódása z=6,12) nagyfelbontású VLBI térképét 2007-ben készítettük el az Európai VLBI Hálózattal (EVN). A hatalmas távolsága miatt igen halvány kvazárból most felfogott elektromágneses sugárzás akkor indult, amikor az univerzum jelenlegi korának még csupán a 7%-a telt el. A J1427+3312 jelű kvazár 1,6 GHz-es rádióképe kettős szerkezetet mutat, ami rendkívül fiatal (talán csak néhány száz vagy ezer éves) objektumra enged következtetni. A képen látható két komponens közti távolság mintegy 520 fényév.

Űr-VLBI: szimulációs program

A KGO kutatói az 1990-es években elkészítettek egy, az űr-VLBI mérések tervezésére és szimulációjára alkalmas, felhasználóbarát számítógépes programot (Space VLBI Assistance Software, SPAS). A szoftver könnyen kezelhető grafikus felhasználói felülettel, számos funkciójával megjelenítette az űr-VLBI kísérletek geometriáját, segítséget nyújtott az észlelések megtervezéséhez. Figyelembe vette az űr-VLBI technika szerteágazó – mind a mesterséges hold, mind a földi hálózat és a követőállomások sajátosságaiból adódó – korlátozásait. A SPAS-t világszerte sokan használták VSOP észlelési javaslatok előkészítésekor – magunkat is beleértve.

Jobbra:
A KGO-ban kifejlesztett űr-VLBI szoftver egy képernyőképe a bázisvonalak vetületét (uv-lefedettség) mutatja egy szimulált megfigyelésre. Barnával a földi, sárgával a földi-űr bázisvonalak láthatók.