

PRAKTIKFALL: ETT RADIOTELESKOP KOMMER SÄLLAN ENSAMT

Onsala Rymdobservatorium gör inte det du tror. De gör mycket mer. Den här artikeln ska inte gå in så mycket på radioastronomi, utan mera visa på Onsala rymdobservatorium ur ett nätverksperspektiv.

Världsrymden ser inte alls ut som den ser ut att se ut. Våra ögon är väldigt begränsade och ser bara ett väldigt smalt våglängdsband. Det kunde vara tillräckligt förr när vi skulle leta morötter och försvara oss mot mammutar, men det är helt otillräckligt för studier av världsrymden.



Bild: Onsala rymdobservatorium/Anna-Lena Lundqvist

Som tur är kommer tekniken till vår hjälp.

Onsala rymdobservatorium (Onsala Space Observatory, OSO) är en del av Chalmers institution för rymd-, geo- och miljövetenskap. I Onsala, 45 kilometer söder om Göteborg, finns flera radioteleskop för astronomi och geodesi. Den svenska nationella anläggningen för radioastronomi förser forskare med utrustning för att studera Jorden och resten av universum.

Observationstiden vid de flesta av teleskopen fördelas av särskilda programkommittéer som bedömer det vetenskapliga värdet av inkomna projektförslag. Många utomstående forskare, både från Sverige och utlandet, använder observatoriets resurser och bor under vistelsen oftast på observatoriet.

Men OSO är inte ensamt ute på sin udde ute i Göteborgs skärgård, utan har ett mycket tätt samarbete med många andra radioobservatorier i världen, i Europa, USA, Sydamerika, Kina, Nya Zeeland, Japan, Sydkorea, Sydafrika, Chile, Ryssland och på Sydpolen. De arbetar tillsammans för att skapa en tydligare bild av universums radiohimmel och bland annat förstå kontinentaldriften, landhöjningen och Jordens rotation ned på centimeternivå idag och på sikt ned på millimeternivå. Med hjälp av atomklockor och knepig programvara kan man låta alla radioteleskop samverka och skapa mycket detaljrika bilder, så kallad långbasinterferometri (VLBI, Very Long Base Interferometry).

OSO deltar i flera internationella radioastronomiska projekt, som EVN (European VLBI Network), ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) och SKA (Square Kilometre Array) som alla innebär sammankoppling av ett antal radioteleskop.

Samverkan kräver dessutom avancerad datorteknik, optiska nätverk, kryogeniskt kylta mottagare, A/D-omvandlare på 32 gigasample per sekund och hårddiskarrayer kring en petabyte.

RADIOASTRONOMI, GRUNDLÄGGANDE

En skillnad mot optisk astronomi är att det går lika bra att göra radioastronomiska observationer på dagen som på natten och det spelar ingen roll om det är molnigt. Åtminstone vid långa våglängder. Astronomi vid millimetervåglängder gör sig bäst i en högt belägen öken (Atacama) eftersom vattnet i atmosfären absorberar radiovågor i frekvensområdet över 3 GHz. Radioastronomerna är mindre glada, medan vi civilister gillar absorptionsfenomenet och gärna använder det i mikrovågsugnar där vi låter mikrovågor vid 2,4 GHz absorberas av vattnet i maten och omvandlas till värme.

Radioastronomerna har det inte lätt. De ska lyssna på världsrymdens mikrovågor härifrån Jorden, som surrar av störningar och egenproducerat brus i alla tänkbara våglängder. Den enda radikala lösningen vore att bygga radioteleskop på Månens baksida, så långt bort från den bråkiga Jorden som möjligt, men det har vi inte teknik till, ännu.

Vad är det som bråkar och bullrar på radio? Allt, faktiskt. Allt som är varmare än absoluta nollpunkten $-273,16^{\circ}\text{C}$ brusar i mikrovågsbanden. Ju varmare, desto mera brusar det. Eftersom nästan ingenting i universum kan vara kallare än den kosmiska bakgrundsstrålningen 2,725 kelvin ($-270,44^{\circ}\text{C}$) så brusar allt. Radioastronomernas svåraste uppgift är att bli av med bruset från vår närmaste omgivning, Jorden och människorna, för att inte tala om vår stora brusgenerator Solen. Bland annat därför behöver man så enorma riktantenner som håller undan bruset från sidorna.

Det du hör som brusar i en FM-radio är huvudsakligen radion själv. Den är 300K varm och då dominerar det termiska bruset i radions egna komponenter. Dessutom hör du allt möjligt annat, som närbelägna datorer, plasma-TV, switchade nättaggregat och annan elektrisk utrustning, men även en del av världsrymden, kanske främst Solen. De radioastronomiska mottagarna drabbas också av termiskt brus. De måste därför kylas till kryogeniska temperaturer, omkring 20K eller rent av göras supraledande.

RADIOSPEKTRUM – VAD STRÅLAR VAR?

Universum strålar emot oss på alla elektromagnetiska frekvenser, från kortvågsradio och upp till hård röntgenstrålning. Det svåra för oss är att höra och se källorna genom alla våra egna störningar och atmosfärens spärrande vattenånga. Om man riktar in sig på radioastronomi kan man dela in radiokällorna i bredbandiga och smalbandiga.

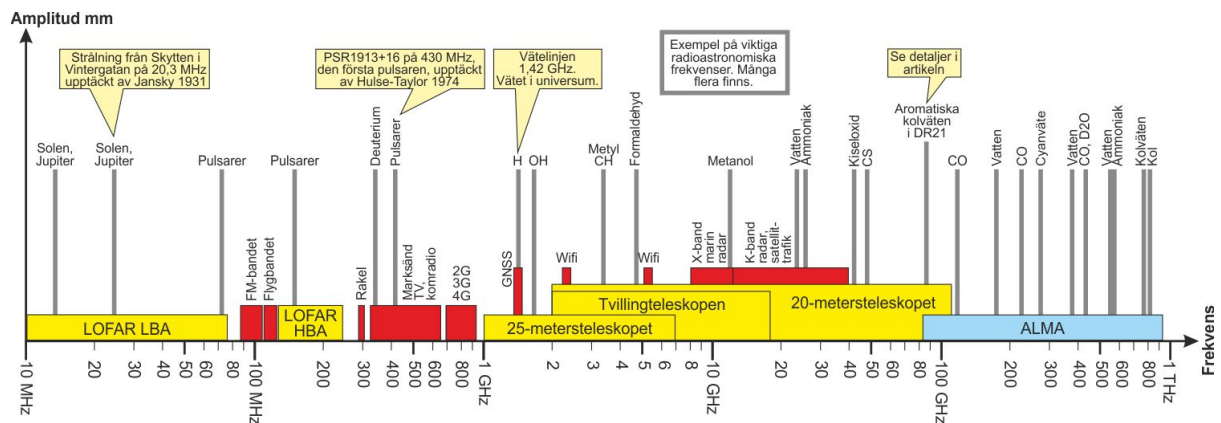


Diagram: Städje

Radiostrålningen som radioastronomerna observerar, kommer bland annat från atomer och molekyler i kalla gasmoln och stjärnhöljen och från gigantiska moln av elektroner (solvind) som rör sig i kosmiska magnetfält. Strålningen kan också komma från tidernas begynnelse, precis efter att universum skapades i Big Bang.

STRÅLNINGENS UPPKOMST

Den kosmiska radiostrålningen uppkommer huvudsakligen på tre olika sätt. **Termisk radiostrålning** kommer från gas som innehåller laddade partiklar, till exempel elektroner och protoner. När elektronerna passerar nära protonerna sänds radiostrålning ut (exempel: solvinden). I övrigt kommer termisk strålning från vilken kropp som helst, bara den är varm.

Synkrotronstrålning alstras när elektroner rör sig nära ljushastigheten i spiralbanor runt magnetfält (som vid Jupiter). Termisk strålning och synkrotronstrålning kallas tillsammans för **kontinuumstrålning** eftersom strålningen uppträder kontinuerligt över ett brett frekvensområde. Den tredje typen av strålning kallas för **spektrallinjestrålning** eftersom den är koncentrerad till vissa

bestämda frekvenser (spektrallinjer). Den kommer från atomer och molekyler och frekvensen beror på vilken atom eller molekyl som sände ut den. Det kan man använda för att bestämma vilka ämnen som finns i gasmoln på miljoner eller miljarder ljusårs avstånd. Totalt har man hittat över hundra olika molekyler i universum, molekyler som i de flesta fall utgör livets byggstenar.

Radioastronomin föddes i och med att den Bell Telephone Laboratories-anställda Karl Jansky fick i uppdrag att undersöka om det fanns storkällor som kunde förhindra kommersiell kortvågstrafik över Atlanten. Han provade på 20,3 MHz och utöver alla åskväder hittade han år 1931 dessutom en stadig bruslåda, som dock inte var jordisk utan visade sig komma från området Skytten från Vintergatan. Numera vet vi att Skytten (i fortsättningen Sagittarius) döljer det svarta hålet i Vintergatans mitt.

OSO fick sin första och största antenn, 25-metersantennen år 1963 och sedan dess har man byggt vidare och täcker nu det mesta av radiobanden (gula rektanglar i diagrammet) som är lyssningsbara utan att störas för mycket av jordiska sändare (röda rektanglar i diagrammet). Andra radioteleskop Jordan runt hanterar liknande eller andra frekvensband. Diagrammet ovan visar bara ett av dem, nämligen ALMA (Atacama Large Millimetre Array) i Chile, som OSO är inblandad i (ljusblå rektangel).

Radioastronomerna täcker i stort sett hela radiospektrum från 10 MHz till 1 THz. Ännu högre frekvenser kallas för långvågigt infrarött och faller delvis utanför radioastronomin.

SPEKTRALLINJER

De grå linjerna i diagrammet visar ett litet urval av de viktiga spektrallinjerna som astronomerna spanar efter för att leta efter förekomsten av livets byggstenar i universum. Vatten, koloxid, olika kolväten, ammoniak, syre och väte är populära indikatorer och de återfinns i alla galaxer, runt alla stjärnor och i nebulosorna som är begynnelsen till alla solsystem.

VÄTE

En av de viktigaste atomerna i universum är väte, som i stort sett alla andra atomer byggts upp av. Neutralt väte (icke joniserat) strålar vid 1.420.405.751,7667 hertz eller enklare uttryckt 1,42 GHz. Våglängden är 21,106 centimeter varför denna spektrallinje brukar kallas 21-centimeterslinjen. Genom att kartera förekomsten av neutralt väte i universum kan man till exempel bygga upp en bild av Vintergatan och andra galaxer. Vätets förmåga att stråla vid en exakt frekvens användas också i vätemasern, en mycket exakt typ av atomklocka. Vid sökningen efter utomjordiskt liv (SETI) har man antagit att andra intelligenser i Universum också känner till detta och kanske eventuellt använder sig av denna frekvens till att sända meddelanden.

MASRAR

En mycket speciell spektralkälla är de kosmiska masrarna. MASER betyder Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Ett moln av ett bestämt ämne, som väte, vattenånga eller koloxid kan exciteras (hetsas upp) av en intelligande stjärna eller strålningen i rymden och börja emittera egen mikrovågsstrålning på ett mycket ordnat sätt inom ett mycket smalt våglängdsband, på samma sätt som en laser gör. Strålningen "startar" en mindre mängd gas som i sin tur börjar stråla. Den strålningen stimulerar gasen runt omkring, som i sin tur stimulerar ännu mera gas. Resultatet är intensiv, smalbandig strålning som kan observeras som en mycket liten punkt i universum, företrädesvis i gasmoln intill nybildade stjärnor.

DOPPLERFÖRSKJUTNINGEN

Ytterligare en komplikation tillkommer, nämligen dopplerförskjutningen. Ju längre bort från oss som radiokällorna befinner sig, desto lägre synes deras frekvens för jordiska teleskop, på grund av den dopplerförskjutning som uppstår och ökar i det allt snabbare expanderande universum. Väte strålar på 1,42 GHz i vår Vintergata, men väte som strålar från de galaxer som uppstod strax efter Big Bang och nu befinner sig på 13 miljarder ljusårs avstånd från oss, har rödförskjutits så kraftigt att det för oss synes stråla i bandet 120-240 MHz. Se mera nedan i stycket om LOFAR. Denna intressanta "komplikation" används för att avgöra hur långt borta strålkällan är. Eftersom spektrallinjerna är kända, undersöker man hur långt de rödförskjutits och kan på så sätt avgöra avståndet till strålkällan och skilja olika strålkällor från varandra.

OBSERVATORIETS TELESKOP

OSO har fyra radioteleskop för mikrovågor och två för längre våglängder.



Bild: Onsala rymdobservatorium/Magnus Thomasson

OSOs praktpjäs är **25-meterteleskopet**, som byggdes 1963-64. Det klarar frekvenser mellan 1–7,5 GHz, väger 100 ton och var ett av de första teleskopen i världen att delta i VLBI-samarbete, nämligen i april 1968. Teleskopet är utrustat med ultrakänsliga maserförstärkare, kylta med flytande helium till en temperatur av endast några grader över den absoluta nollpunkten och är bland världens känsligaste radioteleskop.

Runt omkring på marken står diverse andra instrument för geofysiska observationer.



Bild: Städje

En närbild av 25-meterteleskopet. Sekundärreflektorn är den mörkgrå, runda plattan längst ute i strukturen. Den reflekterar in radiovågorna till tratten i mitten. Det är matarhornet som leder in strålarna i mottagaren, som befinner sig i den vita, koniska behållaren.

Mera godis finns här: <http://www.chalmers.se/en/researchinfrastructure/oso/radio-astronomy/25m/Pages/default.aspx>

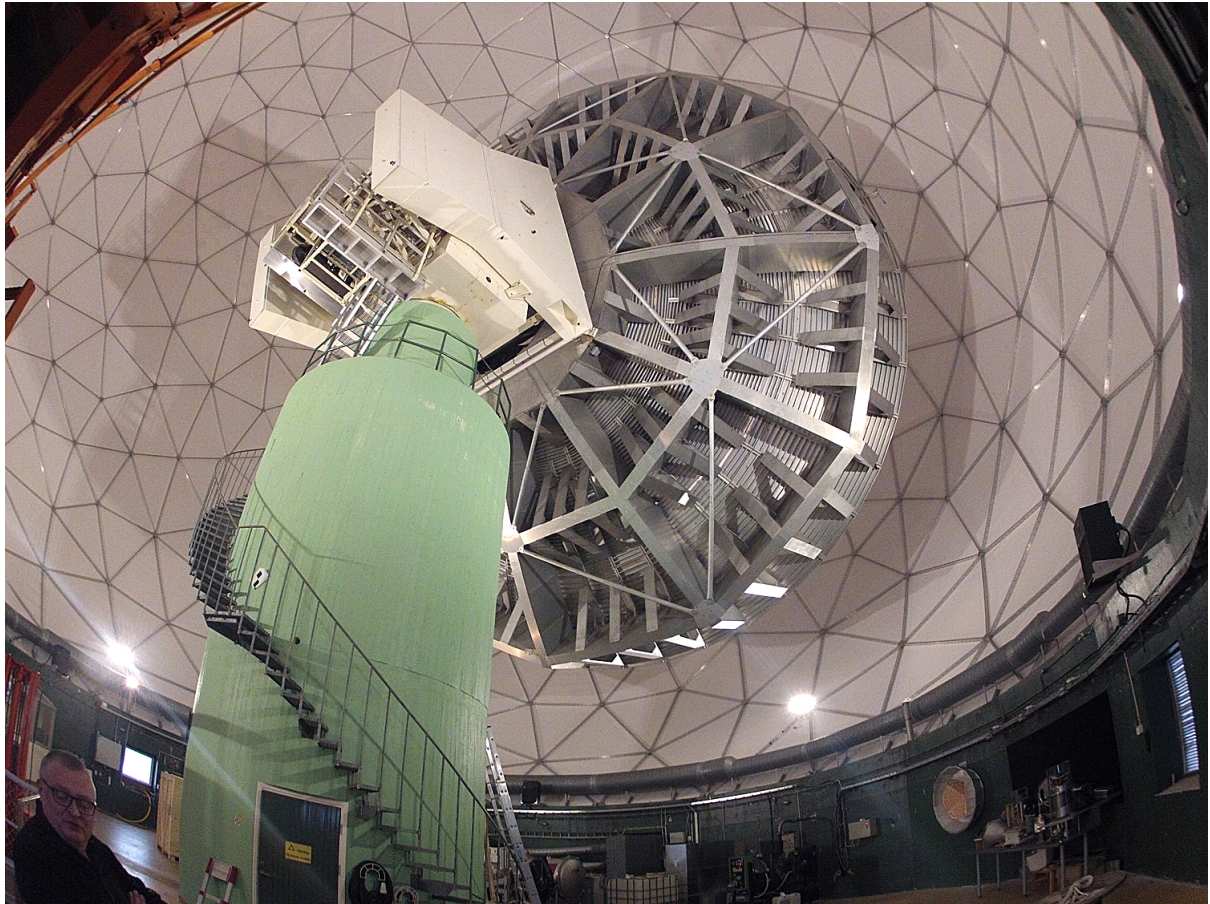


Bild: Städje

Anledningen till att **20-meterteleskopet** måste vara inomhus i en radom är att det måste skyddas från vinden så att det pekar rätt även när det blåser, samt att dess yta måste förbli mycket slät (140–220 μm) och måttriktig eftersom teleskopet används från 2 och upp till 116 GHz. En våglängd vid 116 GHz är 2,58 millimeter och reflektorns yta ska helst bara uppvisa felaktigheter som bara är en bråkdel av detta. Du ser hur ytan stöds upp av ett omfattande fackverk. Lilla minsta vindpust som förvränger reflektorns yta innebär katastrof för riktverkan, för att inte tala om vad snö kan åstadkomma. Radomen är sammansatt av triangulära paneler, bestående av 0,9 mm tjock glasfiberarmerad plast, inspända i aluminiumramar och hopbultade till ett styvt, självbärande fackverk som klarar vindstyrkor upp till 65 m/s. Plastmaterialet släpper igenom cirka 90 procent av den infallande radiostrålningen.

Mera godis finns här: <http://www.chalmers.se/en/researchinfrastructure/oso/radio-astronomy/20m/Pages/default.aspx>



Bild: Städje

Bilden ovan visar det ena av de två **tvingteleskopen**. Reflektorns diameter är 13,2 meter och teleskopen används för geodesi i bandet mellan 2-18 GHz. Geodesi innebär mätning av många himmelsobjekt per dygn och för att kunna beta av en omfattande lista är teleskopet mycket snabbbrörligt. Det kan rotera ett varv på 30 sekunder. Anledningen till att man har två likadana teleskop är inte primärt för att man ska kunna jämföra mätningarna eller för att man ska kunna simulera ett större teleskop, utan för att man ska hinna med ännu flera oberoende mätningar per dygn.



LOFAR (Low-Frequency Array) är en stor internationell organisation, där Onsala bara är en del. Observatoriets station SE607 i teleskopet LOFAR ser ut som stora kvadrater på marken. Det svarta är basplattor respektive skydd för två olika typer av korsade dipoler i två uppställningar. LBA (Low Bandwidth Array) bortserst i bild används för frekvenserna 10-80 MHz, medan HBA (High-Bandwidth Array) närmast hanterar frekvenserna 120-240 MHz. En av avsikterna med LOFAR – åtminstone dess centrala delar – är att se spår av de första stjärnor och galaxer som uppstod så tidigt som bara ett par hundra miljoner år efter att universum bildades i Big Bang, i slutet av det vi kallar "the dark ages". Dessa galaxers strålning från neutralt väte på 1,42 GHz har på grund av dopplerskiftet från 13 miljarder ljusårs avstånd hamnat inom LOFARs passband. Dessutom kan LOFAR med hjälp av alla dess internationella stationer visa pulsarer, synkrotronstrålning från jupiter-liknande planeter med kraftigt magnetfält och utvinna kartor över solvinden i vårt solsystem. Vår egen Jupiter strålar tillräckligt mellan 127–172 MHz för att vara direkt "synlig" med HBA från Jorden.

Två sekunder rått, okorrelerat LOFAR-data sparas alltid på hårddiskar varefter det slängs om ingen behöver det. Skulle till exempel ett robotteleskop upptäcka något intressant på himlen, har man en två sekunders buffert som kan tas undan och analyseras i efterhand.

Läs mer om LOFAR: <https://en.wikipedia.org/wiki/LOFAR>

Det fanns planer på ytterligare kortvågsteleskop i Sverige, nämligen LOIS, som numera är skrinlagda. Principerna för matrisantennor gäller emellertid fortfarande: <https://techworld.idg.se/2.2524/1.337064/tumlande-radiovagnar-och-bilden-av-universum>

Utöver dessa, finns två mindre teleskop för studentbruk, kallade **SALSA** ("Such a lovely small antenna" eller "Sicken Attans Liten Söt Antenn"). De håller inte alls samma upplösning som OSOs stora teleskop, men är å andra sidan fritt tillgängliga och kan riktas via Internet.

HUR GÖR MAN EN 2D-BILD?

Ett vanligt radioteleskop (alltså inte LOFAR) ger bara en pixel. Det finns bara en dipol nere i matarhornet och bara en mottagare. För att bygga upp en tvådimensionell bild måste man svepa teleskopet fram och tillbaka över himlen. I fallet VLBI måste alla inblandade teleskop givetvis svepa över himlen synkront så att alla teleskopens utvunna brus kommer från samma punkt (-er) på himlen, uppmätta samtidigt, eftersom man räknar och tidsstämplar varje elektromagnetisk svängning.

För geodesi räcker det (!) emellertid med att sikta rakt på en radiokälla och spela in bruset. Geodetikerna är inte intresserade av snygga stjärnbilder utan vill bara ha strömmar av brus att korrelera, så att de kan få exakta uppgifter om avstånden mellan

teleskopen och därmed kunna räkna fram hur Jorden formförändras. Eventuellt kan detta komma att ändras i framtiden då geodesin vandrar uppåt i frekvens. Då kan även objektens form bli av betydelse.

Det kan ta en till fem minuter att utvinna en pixel och upp till ett par år att utvinna en bild av hela himlens bakgrundsstrålning, som i fallet med WMAP-satelliten som karterade det tidiga universum (se ovan).

Vid Arciboteleskopet, som är så stort att det ligger fast förankrat i en stor grop i marken, löser man det enkelt genom att vänta medan Jorden roterar.

NÄTVERKET

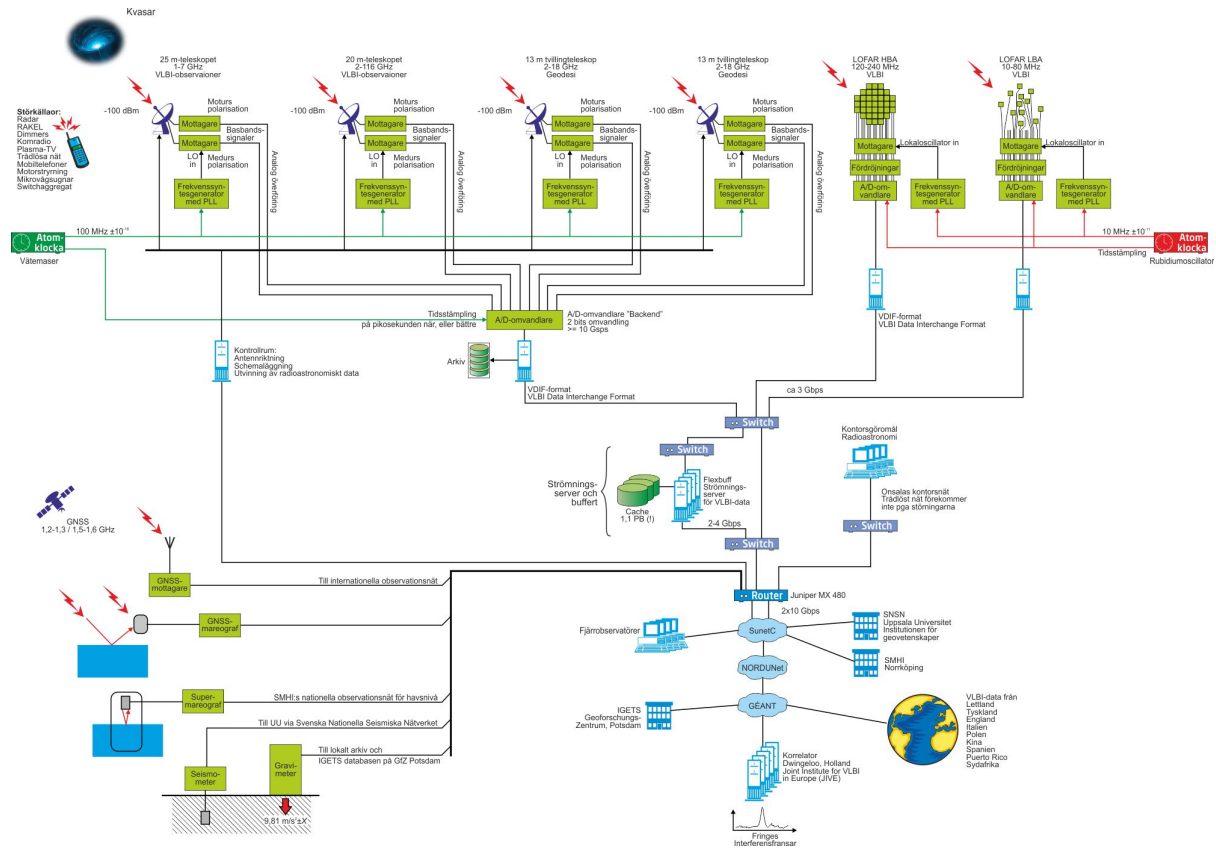


Bild: Städje

Så här är OSO kopplat. De datainsamlande enheterna, teleskopen, syns längst upp. De fyra till vänster arbetar i mikrovågsbanden och har två mottagare vardera, en för högerviden (RCP, moturs) och en för vänsterviden (LCP, medurs) cirkulär polarisation. De två till höger, LOFAR, arbetar i UHF- och VHF-banden och är av typen syntetisk apertur som kan riktas hur som helst och kan ta emot vilken polarisation som helst. Varje delantenn i LOFAR-matrisen har egna mottagare. Vad som kommer ur LOFAR är helt och hållet en sak som beror på algoritmerna i efterföljande databehandling. LOFAR ser hela himlen på en gång och antennlobens utformning och riktning är en programvarusak.

De analoga signalerna från mottagarna digitaliseras i A/D-omvandlare som klockas och tidsstämplas av atomklockor med mycket hög noggrannhet. Mikrovågsteleskopets signaler A/D-omvandlas och tidsstämplas med en vätemaser med noggrannhet kring 10^{-16} medan LOFAR-teleskopen har en egen rubidiumklocka med noggrannhet kring 10^{-10} . Allt digitaliserat data mellanlagras på hårddiskar och data sparas för lokal bearbetning på OSOs kontorsnätverk. Innan infångat data vandrar ut på världsnäten, mellanlagras det i en diskcache på 1,1 petabyte. Det är några byte!

Datormärkt Kontrollrum används för styrning av mikrovågsantennernas riktning och frekvensval. Det är inget man sitter och kör för hand med joystick, utan en noggrant schemalagd körplan, utformad efter forskares ansökningar om observationstid, inlämnade långt i förväg.

Radioastronomen behöver inte nödvändigtvis befinna sig i Onsala utan kan lika väl vara någon annan stans i världen och arbeta via olika forskningsnät. Denne blir då en fjärobserverator.

Allt data som ska korreleras enligt VLBI-principen går vidare till korrelatorn, en superdator som finns hos Joint Institute for VLBI in Europe (JIVE) i Holland. Till samma superdator flyter noga tidsstämplat data in från Lettland, Tyskland, England, osv till

Puerto Rico och Sydpolen. Alla dessa organisationer är dessutom medlemmar i EVN, European VLBI Network. Resultatet av korreleringen är sk fringes (interferensfransar) som talar om hur väl de olika teleskopens observationer stämmer överens och var teleskopen befinner sig i förhållande till varandra. Av flera sådana observationer under längre tid kan man avgöra hur teleskopen förflyttas i förhållande till varandra, vilket också ger ett mått på kontinentalförskjutningen.

OSO använder sig inte bara av GPS utan av GNSS, Global Navigation Satellite System som är en övergripande beteckning för alla satellitbaserade navigationssystem, där GPS bara är ett, Glonass ett annat och ESAs kommande Galileo ett tredje. GNSS-mottagarna, det finns flera stycken, anger OSOs plats på Jorden med stor noggrannhet och tillsammans med de mer exakta radioastronomiska geodesimätningarna ger möjlighet att studera atmosfären och annat som påverkar signalernas färd från rymden. En dubbelmottagare mäter havsnivån. Ytterligare en havsnivåmätare, supermareografen, rapporterar direkt till SMHs observationsnätverk för havsnivå. Seismometern rapporterar eventuella jordskalv till Institutionen för geovetenskap vid Uppsala Universitet, via SNSN, deras nationella nät för seismiska mätningar. Gravimetern, slutligen, mäter Jordens ständigt varierande gravitation just i Onsala och rapporterar till databasen IGETS som sköts av GeoforschungsZentrum i Potsdam i Tyskland. Det här är bara exempel. Det finns fler instrument för geodesi och aeronomi vid observatoriet.

Läs mer om programvaruformade antennlober. Just det projekt som beskrivs i artikeln, LOIS, blev aldrig färdigställt, men principerna för matrisantennor gäller fortfarande: <https://techworld.idg.se/2.2524/1.337064/tumlande-radiovagnar-andrar-bilden-av-universum>

The European VLBI Network: <http://www.evbi.org/>

Svenska Nationella Seismologiska Nätet (SNSN): <http://snsn.geofys.uu.se/>

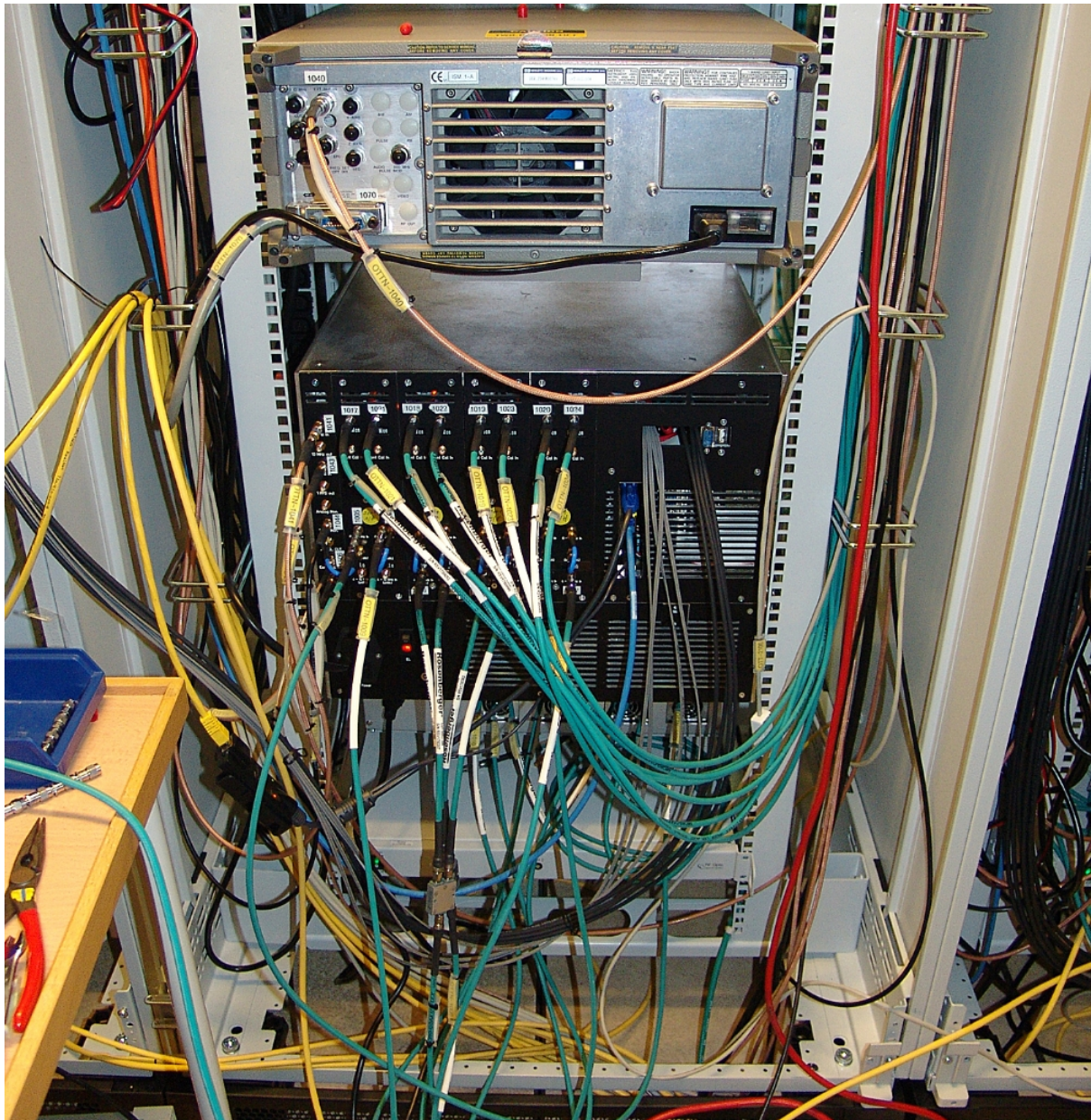


Bild: Städje

A/D-omvandlarna (populärt kallade "backend") omvandlar de analoga signalerna från radioteleskopen (gröna fibrer) till digitalt data som lagras på lokala hårddiskar och skickas ut på SunetC för vidare befordran till korrelatorn i Dwingeloo i Holland. Omvandlarna (Digital Base Band Converters) är av typen DBBC3 från Instituto di Radioastronomia i Italien med en bandbredd på 4 GHz och kan, om man vill ha en upplösning på 2 bitar, sampla med 128 Gbps fördelat på 8 inkanaler, och ge en utdataström på 32 Gbps.

Men 2 bitars upplösning vill man väl inte ha? Jodå, det räcker bra för korrelering. Se mera nedan.

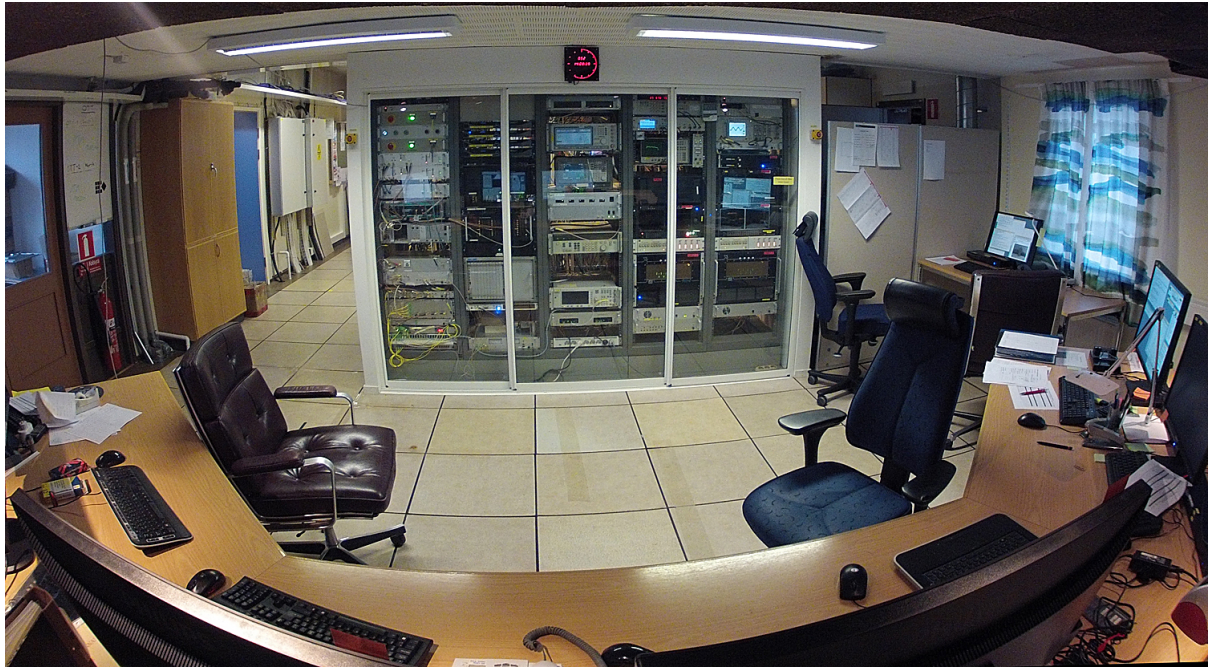


Bild: Städje

I kontrollrummet hanterar man alla antenner och schemalägger deras observationer, genom att i förväg programmera in riktningar, frekvensband och samplingfrekvenser och lagra data som blir resultatet.

Härifrån tog man också förut ut hårddiskassetter för fysisk transport av data till olika korrelatorer världen runt, men numera överför Onsala alla observationsdata på optiska nätverk. Man strömmar data direkt ifrån A/D-omvandlarna (kallat e-VLBI), eller också överför man data direkt efter experimentets slut, sk "near time e-VLBI". Allt data mellanlagras tills dess att korrelatorn har tid och kapacitet för att ta emot alla stationers data. Ibland kan det ta veckor innan kapacitet finns (men notera alltså att LOFAR-data alltid strömmas i realtid).



Bild: Städje

I ett särskilt luftkonditionerat rum hittar vi de två vätemasarna, tillverkade IEM Kvarz i Nizhny Novgorod i Ryssland. De har inga dåliga specifikationer. De mäter ut 5, 10 och 100 MHz sinusvåg med en frekvensnoggrannhet av $\leq 5 \times 10^{-16}$ per dag eller 2×10^{-13} per sekund.

Läs mer om Kvarz CH1-75A: <http://www.kvarz.com/general/1-75E.html>



Bild: Städje

Men en vätemaser är bara en oscillator. För att det ska bli en klocka av den måste man räkna pulserna och dela ned dem till en puls per sekund och visa på en display. Det sker i rackskåpen intill.

Utöver detta delar OSO med sig av sin atomtid till tidsbyrån BIPM i Paris och är alltså en av leverantörerna av världstid som BIPM väger samman för att slutligen sammanställa UTC, som i sin tur dyker upp hos SP (RISE) i Borås, till allas förnöjelse. OSO är sålunda en del av svensk normaltids, UTC(SP).



Bild: Städje

Systemansvarige Roger Hammargren står och stöttar servern för utmatning av VLBI-data på nätet. De svarta hårddiskmodulerna är den ökända bufferten på 1,1 PB.

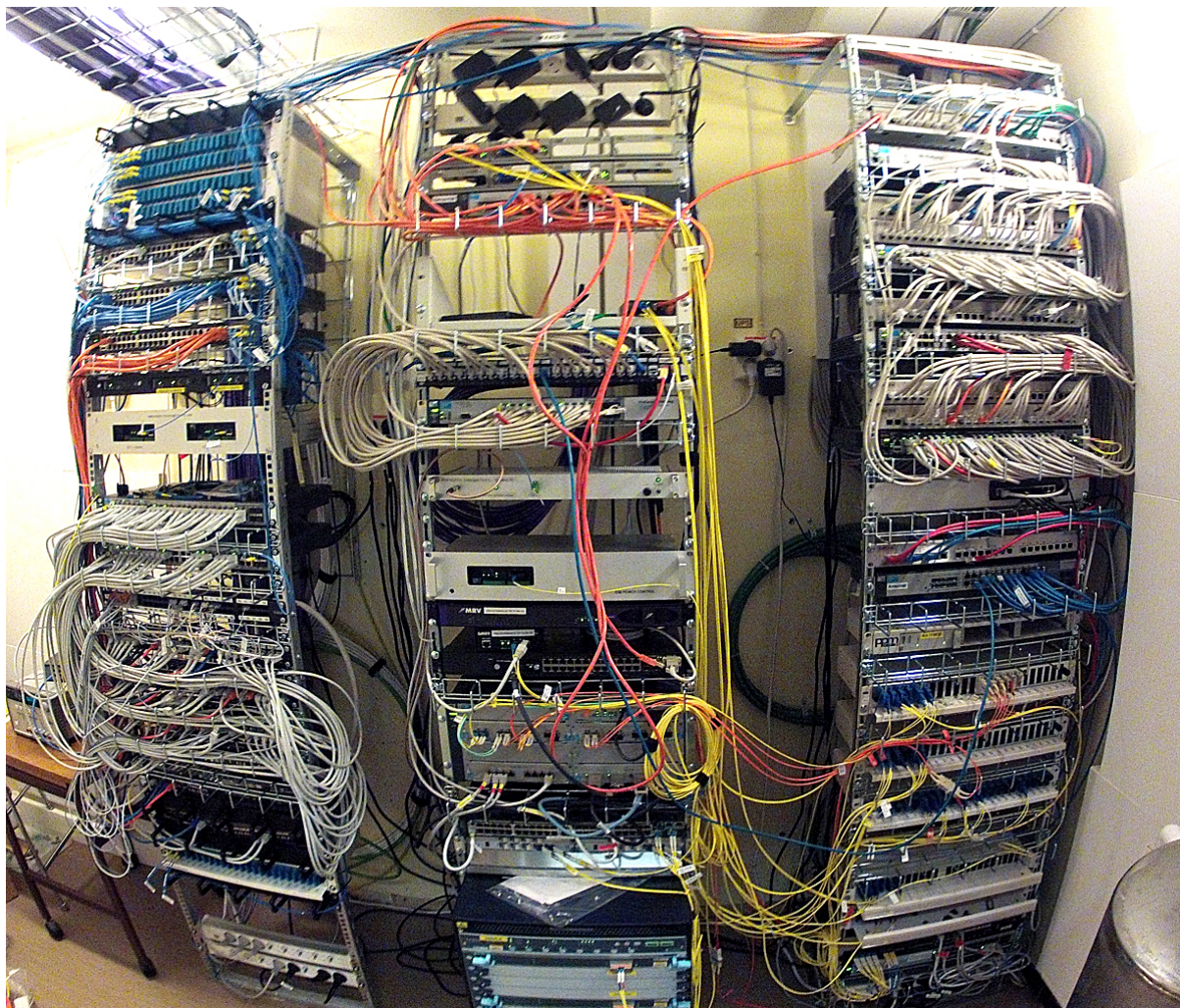


Bild: Städje

Själva hjärnan i allt är dock dessa rackar, som innehåller smör- och bröd-nätet, switcharna för OSOs kontorsnät osv. Och längst ned i mitten sitter...

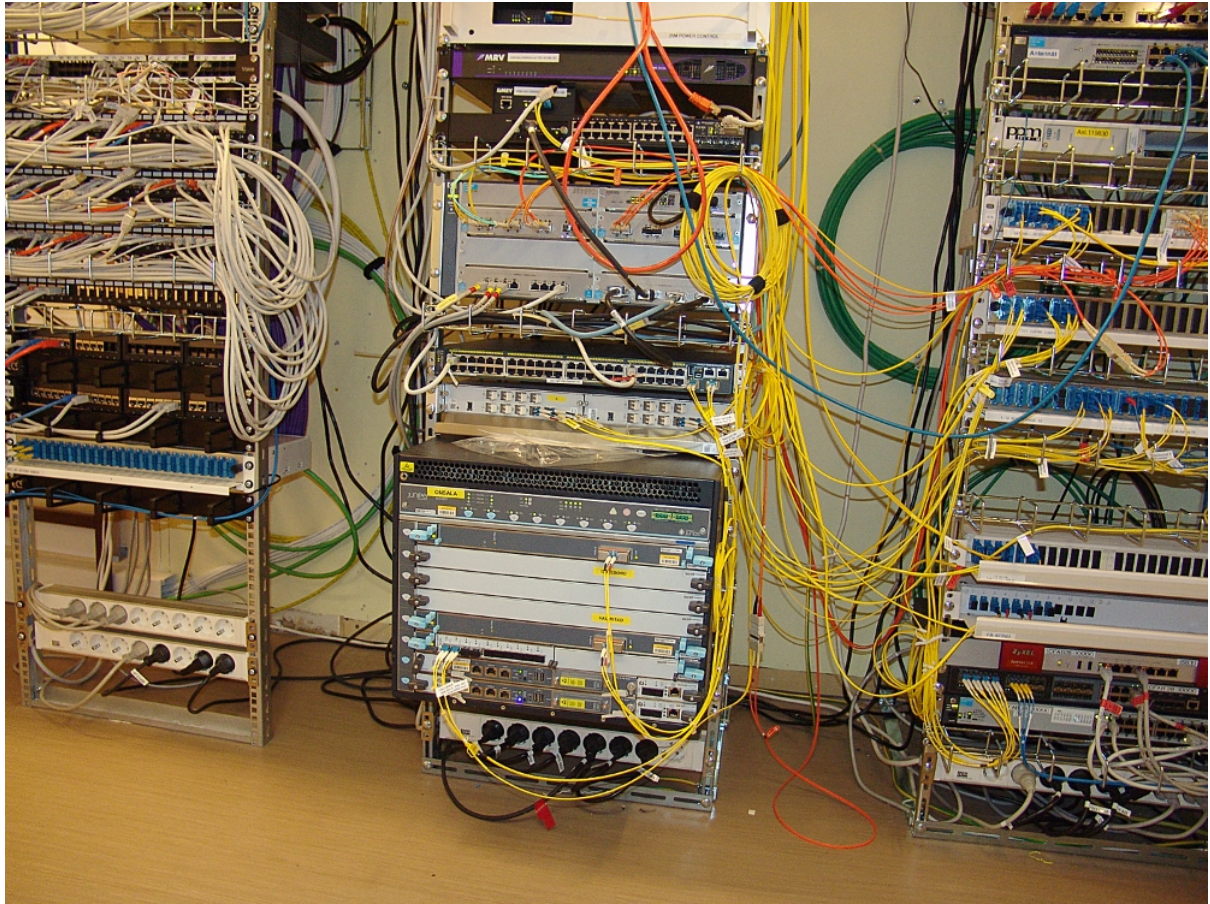
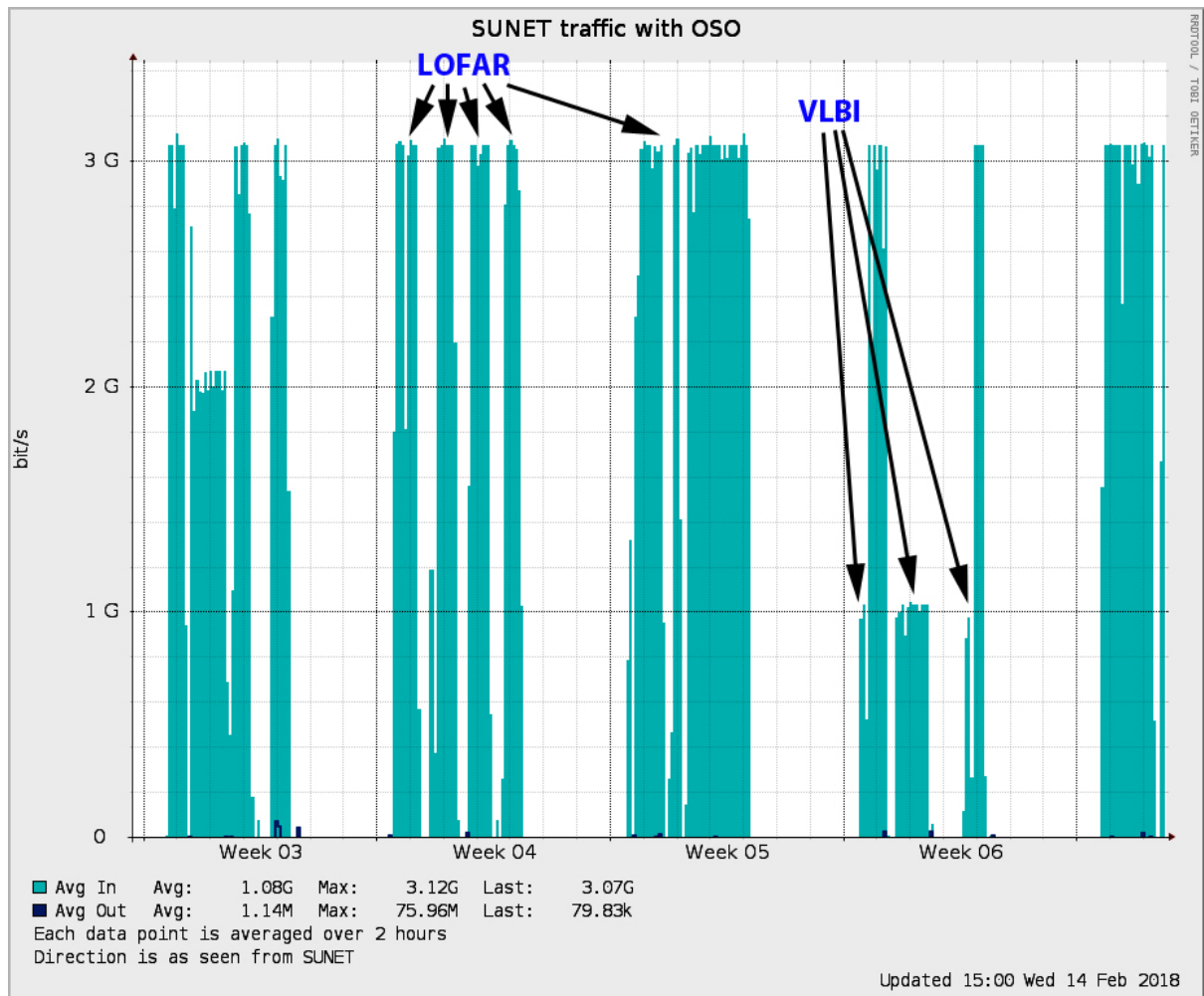


Bild: Städje

...Juniper MX 480-routern som ansluter OSO till SunetC. Just nu är den bestyckad med två optiska transceivrar på 10 Gbps, men 100 Gbps är på väg in, eftersom man ska börja skicka betydligt mycket mera VLBI-data till Holland.



Belastningsdiagrammet för data från OSO till SunetC visar underligt jämna datamängder som inte ser ut som något annat lärosätes dataflöden. När LOFAR körs, matar man ut 3 Gbps data i realtid så länge observationen pågår. Kanske flera dagar i sträck. VLBI-data från mikrovågsteleskopen når för närvarande bara upp till 1-2 Gbps. Dataströmmarna kommer snart att öka till 30 Gbps när de nya transceivrarna kommer.

Se aktuell belastning här: <http://stats.sunet.se/stat-q/r-all?q=all&name=OSO>



Bild: Städje

Alla datoranläggningar runt om på området har föredömligt mycket avbrottsfri kraft. Det finns ett tiotal UPS:er. Utöver detta försörjs hela observatoriet, teleskop såväl som kontor med reservkraft från dieselaggregat. Oavsett om det är svårt med driftsäkerheten för elkraften ute i skärgården eller ej, är avbrottsfri kraft en mycket billig försäkring för filsystemet. När råkar du ut för strömavbrott härnäst?

VLBI, RADIO MED MILLIMETERNOGGRANNHET

Det enda sättet att få skarpare bilder med bibehållen våglängd är skaffa en större reflektor till sin antenn. Ett tag var Arecibo med sina 305 meter världens största reflektor, men idag passeras den av Kinas FAST på 500 meter. Very Large Array i New Mexico som består av 27 antenner som tillsammans bildar en antenn med 42 kilometers diameter är ännu mycket större. Men det är intet mot hela Jordens diameter. Det är vad tekniken med långbasinterferometri, VLBI kan ge oss.

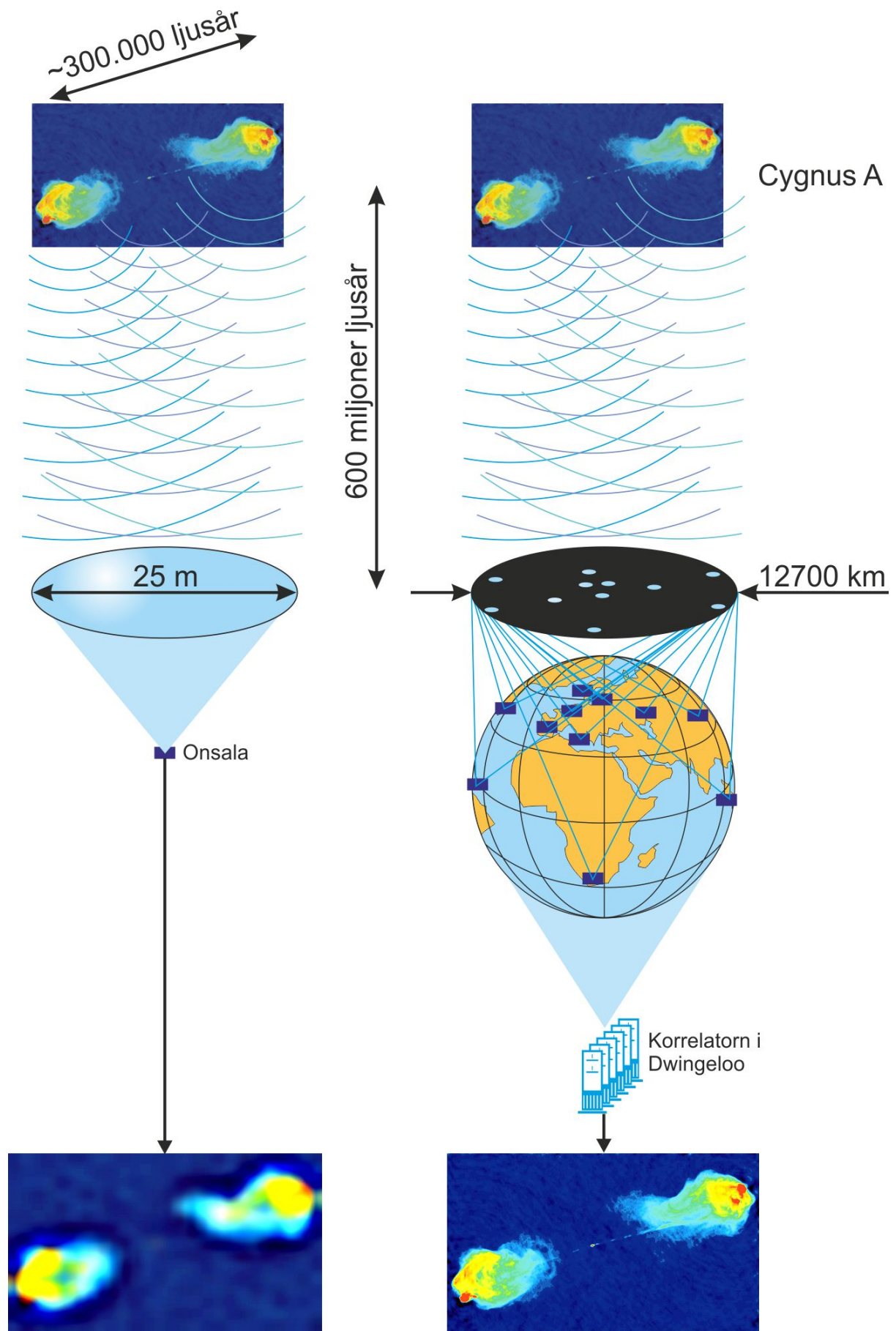


Bild: Städje

Man kan jämföra med en optisk lins som ser ett objekt på oändligt avstånd. Linsen fokuserar bilden på bildplanet. Fokusering är ungefär detsamma som korrelering. Gör man linsen lika stor som hela jorden, täcker den med svart papper och gör ett antal små hål i papperet, för att simulera de olika enskilda teleskoperna, får man fortfarande en korrekt bild, om än mörkare, men betydligt mycket skarpare.

INTERFEROMETRI SOM FENOMEN

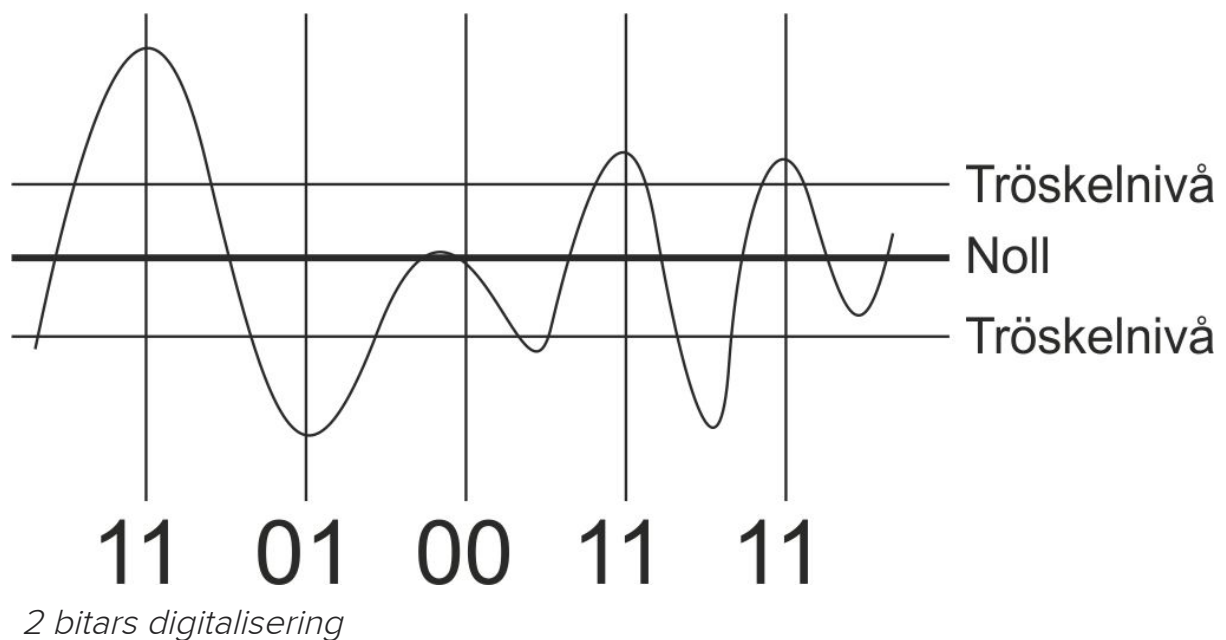
Med ett teleskop lika stort som Jorden får man problemet att alla teleskop inte ligger på samma fokalplan. Då måste man fördröja vågformerna så att det verkar som om alla teleskop fanns på samma fokalplan. Korrelatorn förflyttar alla inkomna vågformer i tiden så att de hamnar tillsammans tidsmässigt. Då får man reda på teleskopens inbördes avstånd i våglängder, vilket faller under vetenskapen geodesi. Geodetikerna arbetar gärna med VLBI mellan 3-15 GHz medan radioastronomer gör VLBI mellan 1-230 GHz.

Fenomenet diffraktion begränsar en mottagares upplösning, oavsett om den är optisk eller radioastronomisk. Det betyder att om man fotograferar en punkt blir bilden inte en punkt utan en suddig punkt. Ju större lins man har, desto skarpare blir bilden. Diffraktionen beror också på våglängden, och ju längre våglängd man använder, desto sämre blir upplösningen.

För radioastronomi skulle man behöva reflektorer med diametrar uppåt flera kilometer, men det är tekniskt omöjligt. Istället använder man **interferometri** och kan på så sätt kombinera radioteleskop på flera platser så att de verkar vara ett och samma teleskop. Som tekniken står just nu, har teleskop över hela Jorden kombinerats till ett enda jätteteleskop. I framtiden kan man tänka sig att utöka detta med flera radioastronomiska satelliter och teleskop på Månen.

För att uppnå en samlad upplösning kring mikrobågsekunder skapar varje deltagande teleskop tiotals gigabit per sekund och för ett experiment på 24 timmar kan det bli en hel del.

A/D-OMVANDLINGEN



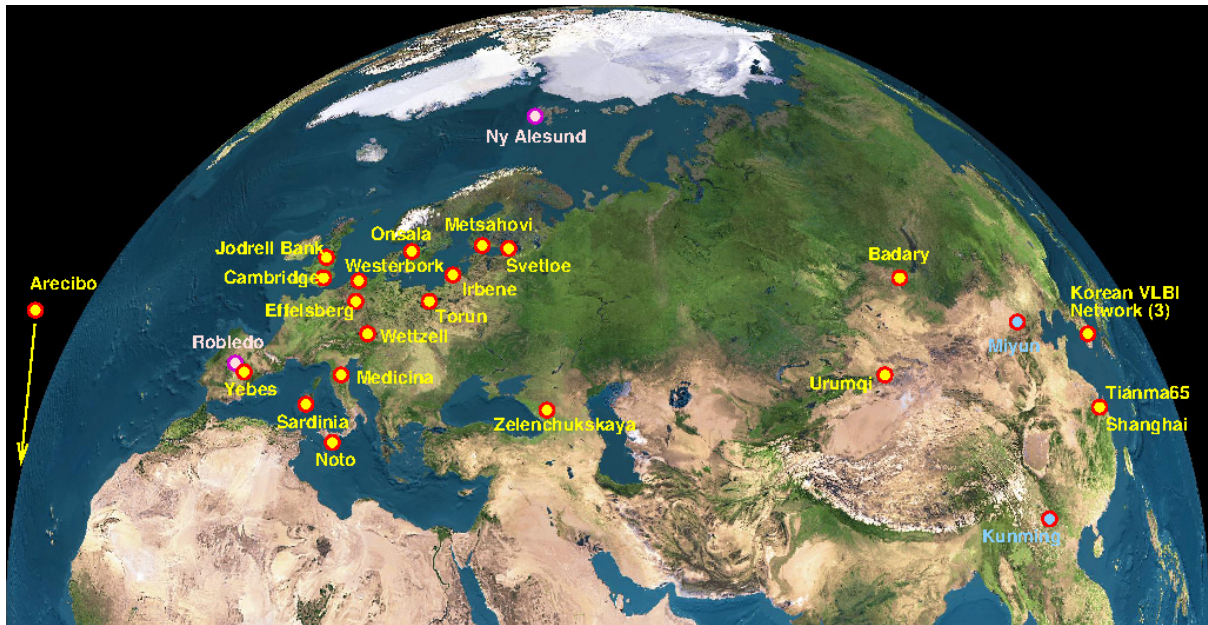
Varje observatorium digitaliserar och spelar in sina observationer och tidsstämplar dem på pikosekunden när. Observationen fryses därmed i tiden.

Vid A/D-omvandlingen använder man nyquist-sampling. Man samplar alltså med en samplingfrekvens som är dubbelt så hög som nyttsignalens bandbredd. Med en typisk bandbredd på 4 GHz blir detta 8 gigasample per sekund och med två bitar blir dataströmmen 16 Gbps. Eftersom teleskopet alltid levererar två polarisationer slutar det på 32 Gbps. Varje sample registreras på en pikosekund när eller bättre i A/D-omvandlaren, men uppgifter om realtiden följer bara med dataströmmen i betydligt glesare intervaller.

Hur kan det räcka med bara 2 bitars upplösning? Värre än så. När man började med VLBI hade man bara en enda bits upplösning, dvs man registrerade bara om flanken gick upp eller ned. Det gick ändå att få fram interferens. Med två bitar registrerar man signalens tecken, positiv eller negativ och om den når upp över en given tröskelnivå som är satt proportionellt till skillnaden mellan brus och nyttsignal.

Det är faktiskt ännu värre. Bara 10 procent av dataströmmen är nyttosignal och resten är brus. Trots att dataströmmarna i stort sett bara är slumpmässigt brus går det ändå att korrelera dem.

KORRELERINGEN



Det finns många observatorier jorden runt, som levererar data till EVN. Du ser dem på jordgloben. Dessutom finns ett i Hartebeesthoek i Sydafrika.

Bild: The European VLBI Network

När data från alla leverantörer nått korrelatorn, packas det upp och man skapar korrelation och interferenser.

I korrelatorn försöker man passa ihop alla brusströmmar från alla teleskop genom att dels känna till fördröjningen mellan dem tack vare tidsstämplarna och dels genom att prova med att fördröja signalerna plus-minus en nanosekund eller två för att se vilket som passar bäst. Till sist hittar man ett maximum för alla brusströmmar och då har man maximal korrelation. Ju bättre överensstämmelse man får, desto högre kvalitet har insignalerna. Först efter detta steg kan man på millimetern tala om var teleskopen befinner sig i förhållande till varandra.

Det finns många korrelatorer (superdatorer) i Europa, till exempel JIVE i Dwingeloo, Max Planck-institutet för radioastronomi i Bonn etc och de samarbetar med en mängd olika observatorier i olika våglängdsband och bildar sammanslutningar med en mängd olika lustifika förkortningar.

Titta in hos JIVE: <https://www.jive.nl/>

NYTT OCH KRYTT FRÅN RYMDEN: EVENT HORIZON TELESCOPE

Att det finns ett svart hål mitt i Vintergatan är vi ganska säkra på, men hur det ser ut vet ingen.

Ett särskilt VLBI-projekt är Event Horizon Telescope, i vilket Onsala-astronomen Ivan Martí-Vidal är inblandad. Det är ett samarbete mellan en mängd jordbaserade teleskop från Europa, via Chile och Hawaii ned till Sydpolen, som har till avsikt att för första gången avbilda händelsehorisonten kring det svarta hålet i mitten av Vintergatan, även kallat Sagittarius A*, på 25.640 ljusårs avstånd. Observationerna har skett kring 230 GHz med en upplösning på 26 mikrobågsekunder. Det är ungefär samma upplösning som behövs för att kunna se en golfboll på Månen. VLBI-teleskopets upplösning vid Vintergatans centrum hamnar kring 30 miljoner kilometer, ungefär som avståndet mellan Solen och Merkurius. Händelsehorisonten för Sagittarius A* beräknas vara cirka 44 miljoner kilometer i diameter så den torde bara bli en prick i bilden.



Bild: Monika Moscibrodzka

Det finns ännu så länge inga bilder alls på svarta hål, och kommer aldrig att finnas eftersom de svarta hålen inte kan ses. Eller som den nyligen framlidne Stephen Hawking har sagt: "Black holes are out of sight".

Men området runt omkring, ackretionsskivan där materia fångas in för att senare försvinna för alltid ned genom den så kallade händelsehorisonten, bör man kunna se. Det tänker sig åtminstone teamet bakom EHT. Bilden ovan är en teoretisk beräkning av hur skivan och materialet som virvlar runt skulle kunna se ut. Bilden visar inte de två jetstrålar av het gas man tänker sig sprutar uppåt och nedåt från skivan.



Bild: MIT Haystack Observatory

Insamlingen av astronomiska data vid alla nio radioteleskopen tog fem veckor och är redan avslutad. Bilden ovan visar en del av de hårddiskar som levererades från teleskopen till Haystack Observatory i Westford i Massachusetts under slutet av 2017, där VLBI-bearbetningen ska ske. Nu, i början av 2018, pågår utvärderingen av VLBI-data, kompensation för atmosfäriska fenomen etc. Datamängden som samlades in under fem dagar från åtta radioteleskop uppgick till ungefär 500 petabyte. Dessutom tog man bilder i röntgenområdet synkront med detta.

Läs mer hos organisationen Event Horizon Telescope: <http://eventhorizontelescope.org/>

Mycket mera information finns här: <http://www.news.com.au/technology/science/space/radio-telescopes-combine-data-to-capture-first-ever-image-of-a-supermassive-black-hole/news-story/d9c2cb732eea80fb381f0cfb055bf106> och <https://www.mpg.de/11201633/event-horizon-telescope-iram>

Mer om det supermassiva svarta hålet Sgr A*: https://en.wikipedia.org/wiki/Sagittarius_A*

LÄS MER

OSO: <https://www.chalmers.se/sv/forskningsinfrastruktur/oso/Sidor/default.aspx>

OSO SALSA: <https://vale.oso.chalmers.se/salsa/welcome>

Se filmen "Contact" som har mycket riktig radioastronomi och många tekniska missar: [https://en.wikipedia.org/wiki/Contact_\(1997_American_film\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Contact_(1997_American_film))

Utforska himlen i olika våglängder med Chromoscope: <http://www.chromoscope.net/>

Dagens astronomiska bild: <https://apod.nasa.gov/apod/astropix.html>

Australiska radioastronomer ser universums första stjärnor, vid 78 MHz: <http://www.bbc.com/news/science-environment-43230729>

Atomtiden: <https://www.sunet.se/case/det-svenska-tidslagret-och-varfor-du-behover-det/>

Lyssna på radioastronomiska ljud. Isao Tomita, Dawn Chorus: https://www.youtube.com/watch?v=Y_zGKYAr3hg

TACK

Redaktionen får översända sitt tack till Robert Cumming, Michael Lindqvist, Ivan Marti-Vidal och Roger Hammargren, alla verksamma vid Onsala rymdobservatorium.