



SALSA bruksanvisning: Teleskopkontroll och dataanalys



Cathy Horellou, Daniel Johansson, Eskil Varenius & Grzegorz Klopotek
Onsala Space Observatory
Chalmers University of Technology
SE-439 92 Onsala
Sweden

Senast uppdaterad 2018-04-04 18:49

Innehåll

Sammanfattning	3
1 SALSAs hemsida	4
1.1 Skapa ett konto	4
1.2 Boka teleskoptid	4
1.3 Live webkamera	6
1.4 Webarkiv för mätdata	6
2 Att observera med SALSA	7
2.1 Vad kan observeras med SALSA?	7
2.1.1 Vintergatan	7
2.1.2 Solen	7
2.1.3 GNSS satelliter	8
2.2 När kan SALSA se ett visst objekt?	8
2.3 Att ansluta till SALSA	8
2.3.1 Att avsluta din session	9
2.3.2 Felsökning	9
2.4 Kontrollprogrammet för SALSA	9
2.4.1 Movement control: Att peka åt rätt håll	10
2.4.2 Receiver control: Att göra en mätning	11
2.4.3 Mätresultat	13
2.5 Att analysera data från webarkivet	14
2.5.1 PNG: Bilder	14
2.5.2 FITS: Ett vanligt format för astronomidata	14
2.5.3 TXT: Textfiler	15
2.5.4 R	15
3 Tekniska specifikationer	18
3.1 Vinkelupplösning och precision	18
3.2 Frekvensupplösning och precision	18
3.3 Fluxkalibrering och osäkerhet	19
Bilagor	20

A	Himmelssfären och astronomiska koordinatsystem	21
A.1	En position på jorden	21
A.2	Himmelssfären	21
A.2.1	Ekvatoriella koordinater	21
A.2.2	Den lokala stjärntiden	22
A.2.3	Hur kan jag veta om min källa är synlig?	23

Sammanfattning

SALSA-Onsala (“Sicken Attans Liten Söt Antenn”) är ett 2.3m diameter radioteleskop utvecklat av Onsala Rymdobservatorium för att introducera elever, studenter och lärare till radioastronomi. Den känsliga mottagaren gör det möjligt att detektera bland annat radiovågor från atomär vätgas långt bort i vår galax Vintergatan. Med hjälp av mätningarna så kan vi lära oss om hur gasen i galaxen roterar och skapa en karta som visar galaxens spiralstruktur.

I detta dokument så beskriver vi i detalj hur du styr teleskopet och hur du kan analysera den data som du får ut från SALSA. Här finns också en kort sammanfattning över teleskopets tekniska möjligheter och begränsningar.

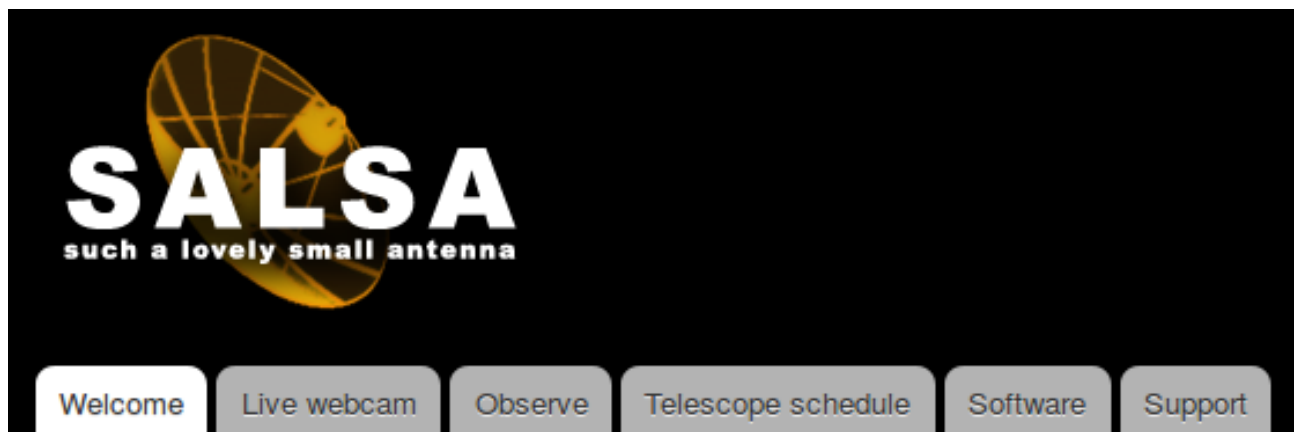
Vänligen observera att detta dokument inte fokuserar på någon vetenskaplig tolkning av mätresultat. Mer information om hur du kan tolka dina mätningar finns i de dokument på SALSA-hemsidan som beskriver olika projekt, till exempel projektet *Kartläggning av Vintergatan*.

Coverimage: Foto av SALSA-teleskopen i Onsala.

Kapitel 1

SALSA-hemsidan

SALSA-teleskopen har en hemsida som du når via <http://vale.oso.chalmers.se/salsa>, en del av sidan kan ses i Fig. 1.1. Här hittar du användbar information och mjukvara som kan hjälpa dig att använda teleskopet och analysera mätdata.



Figur 1.1: En del av SALSA-hemsidan. Här finns mycket användbar information och även boknings-systemet som används för att reservera observationstid med SALSA.

1.1 Skapa ett konto

För att styra SALSA så måste du först skapa ett användarkonto på SALSA-hemsidan. Om du inte redan gjort detta, leta upp länken *Create new account* och fyll i dina uppgifter. Du bör nu få en bekräftelse med login-information via email, om inte - kolla så att mailet inte hamnat i skräppost.

1.2 Boka teleskoptid

För att kunna observera så måste du först boka tid. Detta krävs eftersom endast en användare kan använda teleskopet åt gången. Bokningar görs via SALSA-hemsidan. När du är inloggad,

gå till sidan *Observe*. På denna sida så finns en länk *Book a time*. Klicka här för att skapa en ny bokning. En ny sida visas nu där du måste fylla i en kort beskrivning av din observation, se Fig. 1.2.

Brief description *

My first SALSA observation

Reservation *

Date

2014-12-24

E.g., 2014-12-21

Time

12:00

E.g., 21:11

to: *

Date

2014-12-24

E.g., 2014-12-21

Time

13:00

E.g., 21:11

Figur 1.2: Sidan som används för att skapa en ny bokning av observationstid med SALSA.

Därefter väljer du start- och sluttid för din observation. Du kan kolla på sidan *Telescope schedule* för att hitta en ledig tid. Observera att du kan klicka i datum-fälten för att få en pop-up-kalender där du kan välja datum. Tids-fälten anger timmar och minuter på den dag du valt. Du kan växla mellan att ändra timmmar eller minuter genom att klicka med musen i fältet, eller genom att använda piltangenterna på ditt tangentbord. Observera att tiderna anges i den tidszon du valt när du registrerade dig. (Om du vill kontrollera din tidszon, klicka på länken *My account*.)

Till sist måste du välja ett teleskop. Vi gör vårt bästa för att se till att det alltid finns minst ett teleskop tillgängligt, ibland finns det två eller t.o.m. tre att välja på. De kan bokas oberoende av varandra, så om ett teleskop är bokat under en viss tid så kan du prova att boka ett annat. Välj minst ett teleskop och klicka sedan på *Save* för att spara din bokning. Du bör nu se din bokning på sidan *My reservations*, och även på sidan *Telescope schedule*.

Nu kan du styra teleskopet under den tid du bokat. Observera att du inte kan använda teleskopet om du inte har bokat. Notera också att om din bokning tar slut under tiden som du använder teleskopet, då kommer dina observationer att avslutas och kontrollprogrammet stängas ner. Därför är det bra att spara din data under tiden du observerar, se nedan. Om du inser under din bokade tid att du behöver mer tid, då kan du prova att förlänga din bokning. Detta kan du göra genom att gå in på sidan *My reservations* och klicka på länken *edit* för att

ändra en specifik bokning.

1.3 Live webbkamera

Det är roligare att styra teleskop om du kan se dem röra sig! Därför har vi monterat en webbkamera i en byggnad nära teleskopen. Du kommer åt webbkameran via sidan *Live webcam* på SALSA-hemsidan.

1.4 Webarkiv för mätdata

När du gjort en mätning med SALSA så kan du ladda upp den till webarkivet. För att komma åt din arkiverade data, logga in på SALSA-hemsidan och klicka på länken *Data archive*. Denna sida visar ditt personliga arkiv, alltså alla dina sparade mätdata. Varje mätning kan laddas ner som tre olika format: som PNG (en bild, praktiskt för en snabbtidd på din mätning), som TXT (en ren textfil med rådatan), och som FITS (ett vanligt format inom astronomi för att analysera mätningar i detalj). Instruktioner för hur du läser dessa olika format finns i avsnitt 2.5 i detta dokument.

Date and time of observation	Observer	Galactic longitude [d : ' : "]	Galactic latitude [d : ' : "]	Bandwidth [MHz]	Center frequency [MHz]	Target integration time [s]	Telescope	Download FITS	Download PNG	Download TXT
2014-12-21 18:19	eskil	190:04:00.1	-0:15:10.9	2	1420.400	30	vale	FITS	PNG	TXT
2014-12-21 18:18	eskil	185:07:30.2	-0:14:49.2	2	1420.400	30	vale	FITS	PNG	TXT
2014-12-21 18:17	eskil	179:54:58.6	-0:03:37.6	2	1420.400	30	vale	FITS	PNG	TXT

Kapitel 2

Att observera med SALSA

Det är viktigt att vara väl förberedd innan du börjar observera med SALSA. Tiden är inte bara begränsad, på grund av jordens rotation så kan vissa objekt ses på himlen över Onsala under en kort tid på dagen. Försök att få en bra förståelse för vad du vill göra med SALSA innan du börjar använda teleskopet. I detta kapitel så beskriver vi vad du kan observera, hur du styr teleskopet, och hur du gör en mätning. Vi rekommenderar starkt att du läser hela detta dokument innan du använder SALSA första gången.

OBS: när du är klar med dina observationer, vänligen ställ teleskopet i viloläge (**Stow position**). Detta görs genom att välja **Stow** i listan över koordinater i styrprogrammet och sedan trycka på **Track**. I viloläge så är teleskopen mindre känsliga för starka vindar som kan skada mekaniken.

2.1 Vad kan observeras med SALSA?

Även om SALSA huvudsakligen har utvecklats för att observera vätgas i vår galax Vintergatan så finns det några andra sätt att använda teleskopet. I detta avsnitt så beskriver vi de idéer som vi har provat hittills. Fler projekt kommer att läggas till när vi får tid.

2.1.1 Vintergatan

De flesta personer som använder SALSA har som mål att detektera radiovågor från vätgas i vår galax Vintergatan. Målet är att detektera strålning som sänds ut av atomärt väte nära frekvensen 1420.4 MHz. Detta projekt är vad SALSA-hemsidan och kontrollprogrammet är utvecklade för, och den största delen av dokumentationen är till för att underlätta dessa mätningar. För en utförlig beskrivning av detta projekt, se dokumentet *Kartläggning av Vintergatan* som finns att ladda ner via SALSA-hemsidan.

2.1.2 Solen

Solen är en stark radiokälla och kan enkelt detekteras med SALSA. Observationer av solen kan användas för att mäta antennens mottagaregenskaper. Mer information om detta projekt finns i dokumentet *Antennrespons för SALSA*, som finns att ladda ner via SALSA-hemsidan.

2.1.3 GNSS satelliter

Framsteg i rymdvetenskap och utforskning av universum, som inleddes 1960, orsakade att många satelliter började dyka upp på jordens bana vid höjder från 2000 till 20 000 km. Sådana konstgjorda föremål används i många olika områden inom vetenskap och teknik, såsom telekommunikation, meteorologi, miljöövervakning eller navigering. Den senare är realiserad genom ett så kallat Global Navigation Satellite System (GNSS). SALSA-användare kan upptäcka signaler som emitteras från GNSS satelliter. Mer information om detta projekt finns i dokumentet *GNSS signal spectra with SALSA*, tillgänglig på SALSA webbplats.

2.2 När kan SALSA se ett visst objekt?

Alla himmelska objekt kan inte ses från Onsala, vissa kan bara ses över horisonten under en kort tid varje dag. Innan du observerar så är det bra att förbereda dig så att du är säker på att du kan observera det du vill under din bokade tid. Mer information om hur du gör detta finns i Appendix A. Notera att detta appendix även inkluderar en lista över galaktiska koordinater som alltid är synliga från Onsala. Dessa kan vara bra positioner att börja med för en kartläggning av Vintergatan.

Ett annat sätt för att ta reda på vad du kan se med SALSA vid en viss tidpunkt är genom att installera gratisprogrammet *Stellarium*, som finns att ladda ner via <http://stellarium.org/>. Ställ in att du är i Onsala (eller i Kungsbacka, vilket programmet känner till och som är tillräckligt nära Onsala), och välj datum och tid. Programmet kommer då att förutse hur himlen ser ut. Notera att du kan välja att visa koordinataxlar i Stellarium: både galaktiska och ekvatoriella koordinater finns som val.

2.3 Att ansluta till SALSA

SALSA-teleskopen kontrolleras från datorer i Onsala. Om du är på observatoriet så kan du logga in på en dator direkt. Men, de flesta observationer görs genom att fjärrstyra teleskopet via internet. För att kontrollera SALSA så måste du alltså logga in på en dator i Onsala via internet. Detta har testats utan problem på Windows, Mac OS X och Linux så du bör kunna ansluta med vilken dator som helst. Det finns två vanliga sätt att ansluta till en dator i Onsala:

- *I din webbläsare.* Detta är det vanligaste sättet att fjärrstyra ett SALSA-teleskop. Ingen speciell programvara behövs förutom en uppdaterad webbläsare. Du hittar länkarna till inloggningssidorna för teleskopen på sidan *Observe* på SALSA-hemsidan.

OBS: Din webbläsare kommer att klaga på att anslutningen inte är tillförlitlig, *untrusted*, eftersom vi inte har n[got certifikat för SALSA-datorerna. Vänligen ignorera denna varning för att logga in på datorerna. För att göra detta i Firefox, välj *Jag förstår riskerna, Lägg till undantag, Bekräfta undantag*. I Safari: klicka *fortsätt*. I Explorer: klicka *fortsätt*. När du är ansluten så kan du starta kontrollprogrammet genom att klicka på SALSA-genvägen på det virtuella skrivbordet, eller genom att starta en terminal och skriva SALSA.

- *Terminalen*. Om du är van att arbeta i terminalen så kan du logga in via SSH med grafik genom att köra kommandot `ssh -X username@computer`, där `computer` är antingen `vale.oso.chalmers.se` eller `brage.oso.chalmers.se` beroende på vad du bokat. Du kan sedan starta kontrollprogrammet genom att köra kommandot `SALSA`.

2.3.1 Att avsluta din session

När du är här observerat färdigt, vänligen stäng kontrollprogrammet genom att klicka på x i övre högra hörnet av programmet. Stäng sedan din anslutning till SALSA-datorn. Om du är uppkopplad i webbläsaren, stäng din anslutning genom att stänga det virtuella skrivbordet, t.ex. genom att klicka på knappen uppe i höger hörn. Om du är uppkopplad via SSH i en terminal så kan du stänga din anslutning genom att köra kommandot `exit`.

OBS: när du är klar med dina observationer, vänligen ställ teleskopet i viloläge (*Stow position*). Detta görs genom att välja *Stow* i listan över koordinater i styrprogrammet och sedan trycka på *Track*. I viloläge så är teleskopen mindre känsliga för starka vindar som kan skada mekaniken.

2.3.2 Felsökning

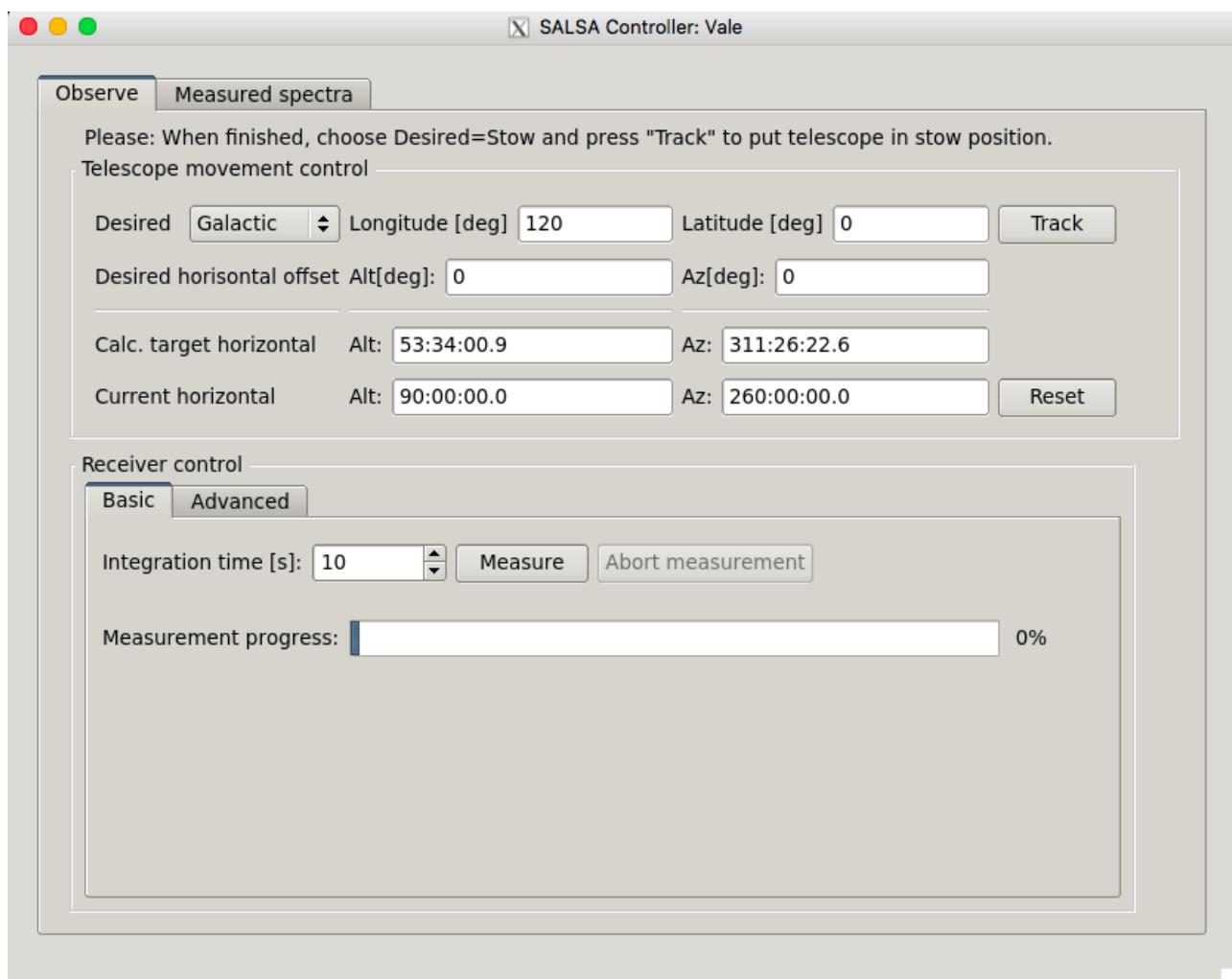
Har du problem att ansluta till teleskopdatorn? Innan du kontaktar supporten, vänligen kolla följande tre vanliga fel:

- Lösenordet för kontrolldatorn kan vara ett annat än det du använder för att logga in på hemsidan (för att göra bokningar). För att logga in på kontrolldatorn så använder du ditt *telescope password* som du hittar under *My account* på SALSA-hemsidan.
- Kontrollera så att du försöker ansluta till rätt dator. Adressen är olika för olika teleskop, men ser liknande ut. Om du till exempel har bokat teleskopet *vale*, då ska du ansluta till *vale.oso.chalmers.se*. Om du har bokat teleskopet *brage*, då ska du ansluta till *brage.oso.chalmers.se*.
- Kontrollera så att du har bokat teleskopet vid rätt tidpunkt. Bokningar på hemsidan visas i den tidszon som du valt. Du kan kontrollera vad klockan är i den tidszon du valt genom att titta på klockan uppe till höger på SALSA-hemsidan.

2.4 Kontrollprogrammet för SALSA

När du är inloggad på en dator så kan du starta kontrollprogrammet genom att antingen klicka på genvägen *SALSA* på det virtuella skrivbordet, eller genom att köra kommandot *SALSA* i en terminal. Du bör ¹ nu se kontrollprogrammet, se Fig. 2.1. Kontrollprogrammet används för att styra teleskopet och för att göra mätningar. Vi börjar med att förklara hur du styr teleskopet, och sedan beskriver vi hur du gör mätningar.

¹Ibland kan det ta över 10 sekunder innan programmet visas, ha tålamod. Om du inte ser något fönster, prova igen. Om du inte ser något efter 30 sekunder, kontakta supporten enligt instruktionerna på SALSA-hemsidan.



Figur 2.1: Startläget för kontrollprogrammet.

2.4.1 Movement control: Att peka åt rätt håll

Kontrollprogrammet innehåller en ruta med rubriken *Telescope movement control*. Denna ruta innehåller fyra rader av vita fält. Vi beskriver nu syftet med dessa fält i detalj.

De första två raderna är till för att användare ska skriva in värden. Den första raden har etiketten *Desired*. Denna rad måste fyllas i av dig: här anger du vart du vill att teleskopet ska peka. Du kan välja olika koordinatsystem, men galaktiska koordinater är de vanligaste eftersom de är praktiska när du observerar vätgas i Vintergatan. Några speciella objekt kan också väljas direkt, till exempel solen.

Den andra raden har etiketten *Desired horizontal offset*. Denna rad används endast i specialfall, t.ex. för att mäta antennresponsen för SALSAs. Denna rad bör lämnas med värdet 0 för de flesta observationer, t.ex. för att observera vätgas i Vintergatan.

Raderna tre och fyra visar information, d.v.s. du ska inte skriva in något här. Den tredje raden har etiketten *Calc. target horizontal*. Denna rad visar målets lokala (altitude-azimuth) koordinater som de beräknats av kontrollprogrammet givet de önskade koordinaterna som du

skrivit in (inklusive eventuell offset från rad två). Notera att koordinaterna på rad tre ändras då riktningen räknas om varje sekund. Dessa omräkningar görs automaiskt av programmet.

Den fjärde och sista raden visar de nuvarande lokala koordinaterna, d.v.s. åt vilket håll antennen pekas just nu. När du säger till antennen att röra sig, se nedan, så kommer den att röra sig tills de nuvarande koordinaterna på rad fyra kommer så nära som möjligt den beräknade positionen på rad tre.

Tracking

Tracking betyder att följa eller *tracka* ett specifikt objekt eller koordinat på himlen. Det innebär att teleskopet behöver röra sig för att korrigera för jordens rotation (ungefär 0.25° per minut). När du valt ett önskat mål, klicka på knappen **Track**. Teleskopet börjar nu röra sig, se Fig. 2.2, och kommer att fortsätta att beräkna och följa ditt mål på himlen tills du säger åt det att sluta genom att klicka på knappen **Stop**. Glöm inte att titta på webbkameran på SALSA-hemsidan för att se att teleskopet rör sig. När du når ditt mål så kommer du troligen inte att se de små korrigeringarna, som behövs för att följa målet på himlen, med ögat. Men, om du tittar noga så kommer du att se att värdena i rad fyra, *Current coordinates*, kommer att ändra sig lite över tid för att följa en ändring i den beräknade positionen. Notera att det kan ta upp till några minuter för teleskopet att nå din önskade position om du började långt bort på himlen. Att mäta under tiden du rör dig ger bara nonsens, du måste vänta tills teleskopet har kommit fram till rätt riktning.

Hur noggrannt är SALSA?

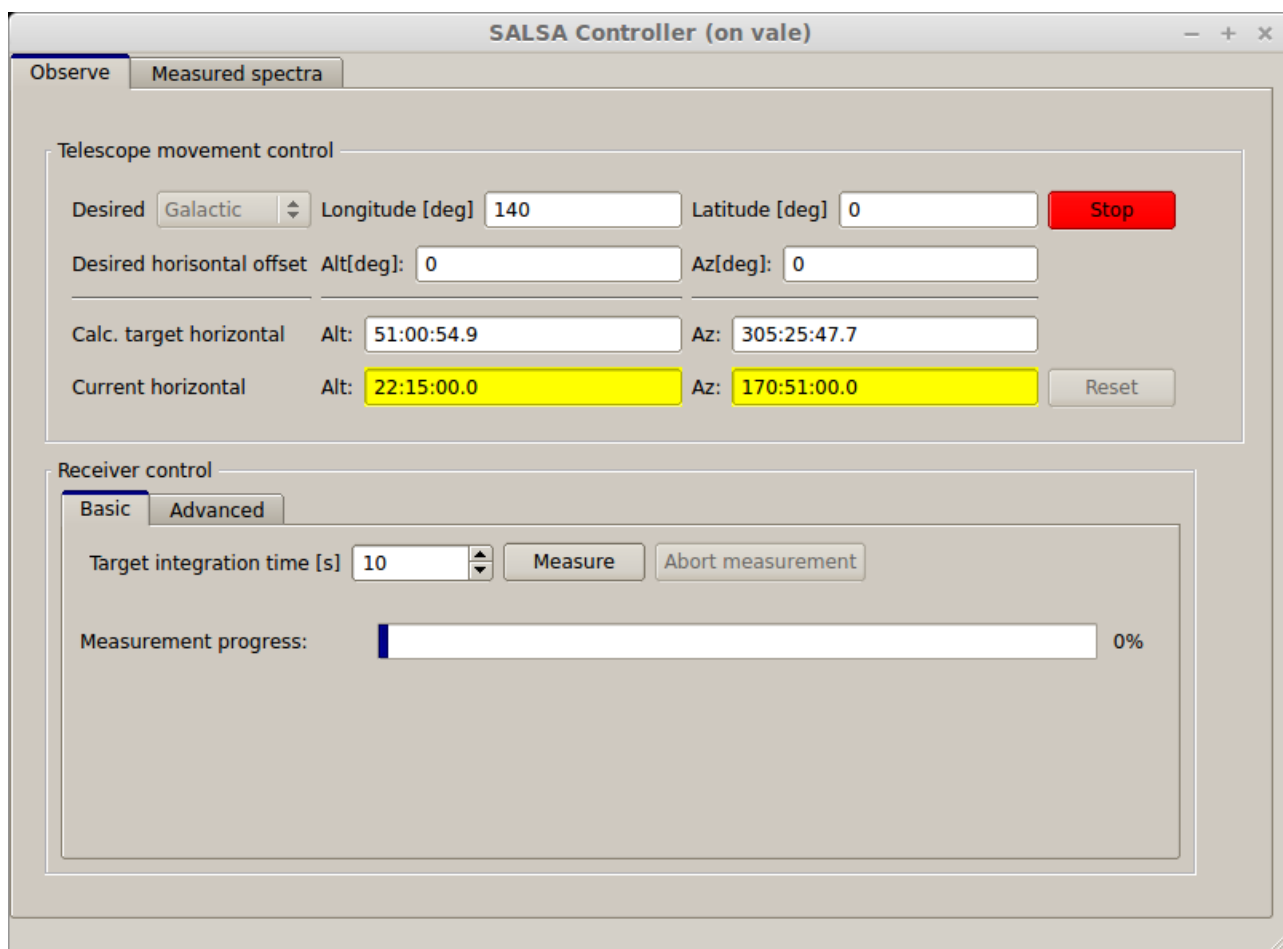
Teleskopet har en noggrannhet på 0.5° givet dess mekaniska konstruktion. Detta är dock mycket mindre än vinkelstorleken på antennens *huvudlob*, d.v.s. det område på himlen där antennen fångar upp strålning. Huvudloben för SALSA har uppmätts till ca 5.4° vid frekvensen 1420 MHz. Vänligen vänta tills teleskopet är inom 1° från ditt önskade mål innan du gör en mätning. Kontrollprogrammet kommer att visa detta genom att ändra bakgrundsfärgen på raden *Current coordinates* från gul (vilket innebär att teleskopet inte är framme ännu, se Fig. reffig:controlmove) till vit (vilket innebär att teleskopet är redo att mäta). Mer information om noggrannhet hittar du i kapitel 3.

Mät endast ovanför 15° altitud

Teleskopet kommer att vägra att röra sig om du försöker få det att peka åt ett håll som det inte kan, och programmet kommer att tala om för dig vilka värden som är tillåtna. Du kan alltså inte göra sönder teleskopet genom att peka åt fel håll. Men, även om teleskopet kan peka ända ner mot horisonten så är det klokt att bara mäta en bit över horisonten för att undvika störande radiostrålning från marken. Som en tumregel, observera endast om ditt mål är mer än 15° över horisonten.

2.4.2 Receiver control: Att göra en mätning

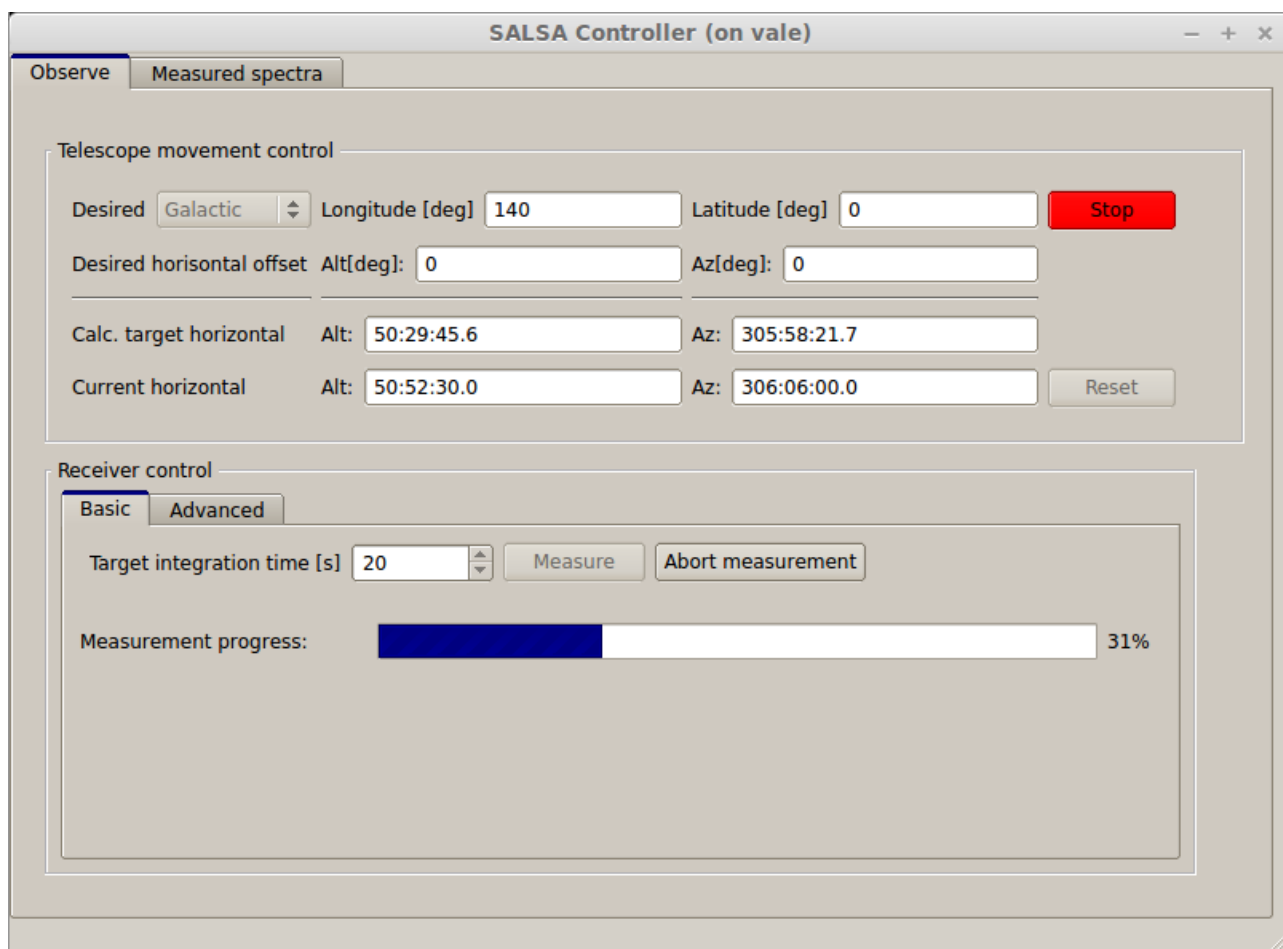
När teleskopet har nått din önskade riktning så är du redo att göra en mätning. Det är viktigt att fortsätta att tracka under tiden du mäter, så klicka inte på stop-knappen förrän din mätning



Figur 2.2: Så här ser kontrollprogrammet ut när teleskopet rör sig.

är klar. Innan du startar en mätning så måste du bestämma hur länge du vill mäta. En längre tid ger en tydligare signal. Tiden du mäter kallas *integrationstid* och du anger detta i rutan med titeln *Receiver control* i mitten av programfönstret. Vanligtvis så fås ett bra spektrum av väte efter 20 sekunder. Efter att du skrivit in integrationstiden, klicka på **Measure**. Du kommer nu att se en förloppsmätare som ökar från vänster till höger i nedre delen av programfönstret, se Fig. 2.3.

Obs.: Teleskopet kommer, utan att du behöver göra något, att dela den tid som du anger i rutan *Integration time* i två delar. Detta eftersom teleskopet, förutom att mäta på ditt mål (signalen du vill ha), också behöver mäta på sig självt (hur mottagaren stör signalen). Teleskopet gör detta genom att byta mätfrekvens bort från väte när det mäter på sig självt. Avancerade möjligheter att styra denna switchning finns under fliken *Advanced*, men rör inte dessa värden utan att du vet vad du gör. För vanliga användare så behöver du endast välja integrationstid under *Basic*.



Figur 2.3: Kontrollprogrammet när en mätning pågår.

2.4.3 Mätresultat

När en mätning är färdig så lagras spektrumet tillfälligt i kontrollprogrammet. För att titta på ditt spektrum, klicka på fliken *Measured spectra* i övre delen av programfönstret. Du ser nu ett fönster liknande Fig. 2.4. På vänstersidan visas en lista över alla spektra som du tagit i denna session (sedan du startade programmet). På högersidan visas det spektrum som är markerat i listan. Denna figur är användbar för en snabb analys av din mätning. Du kan zooma genom att använda knapparna under figuren, och om du håller muspekaren över figuren så visas värdet där du har markören som två tal under figuren. Även om detta är det enklaste sättet att få ut information från din mätning, så kanske det inte är det mest praktiska. Kanske vill du istället använda din tid med SALSA till att göra observationer, och sedan göra en noggrann analys av dina mätningar i efterhand. Då måste du spara din data. I nedre vänsta hörnet finns en knapp som du kan använda för att spara det markerade spektrumet till webarkivet. Efter att du sparat en mätning så kan du hämta den när som helst via SALSA-hemsidan, se avsnitt 1.4. Datan bör finnas i arkivet någon sekund efter att du tryck på Upload-knappen, så kolla gärna att din data verkligen har laddats upp innan du avslutar kontrollprogrammet. Notera att om du inte laddar upp dina mätningar så kommer de att tas bort när du stänger programmet.

LSR-korrigerig

Skiftet av frekvens som man mäter med SALSA är resultatet av en hastighetsskillnad mellan teleskopet (observatören) och målet (källan) längs synfältet. Som standard korrigeras i SALSA den beräknade radiella hastigheten och den uppmätt frekvensen för observatörens rörelse och uttryckt med avseende på Local-Standard-of-Rest (LSR) ram. Denna korrigerig betraktar två huvudeffekter: solens rörelseförhållande till LSR och jordens orbitalrörelse i förhållande till solen. LSR-korrigerig kan inaktiveras på fliken *Advanced* om man inte vill använda det här alternativet.

RFI-borttagning

Som standard används medianfiltrering i SALSA för att filtrera bort eventuell radiofrekvensinterferens (RFI) närvaro i den inspelade signalen. Tanken med detta filter är att gå igenom signalvärdet och ersätta varje värde med medianen av närliggande värden. Det är viktigt att identifiera vilken RFI som direkt påverkar de erhållna resultaten (Fig. 2.5). RFI-borttagning kan dock inaktiveras fliken *Advanced*, om man inte vill använda det här alternativet.

2.5 Att analysera data från webarkivet

Som beskrivits i föregående avsnitt så kan du inspektera din data direkt i kontrollprogrammet. Detta är det enklaste sättet att få ut information från dina mätningar, men i vissa fall kanske du vill göra en mer noggrann analys utan att boka tid med SALSA. I detta avsnitt så beskriver vi hur du öppnar de olika dataformat som går att hämta från webarkivet och vilken mjukvara du kan använda för att analysera dina mätningar.

2.5.1 PNG: Bilder

PNG-formatet är en bild av spektrumet, precis som det såg ut i kontrollprogrammet när du klickade på knappen Upload. Detta är användbart för en snabbtitt på din data, men är inte lika exakt som att inspektera datan direkt i kontrollprogrammet eftersom du inte kan få exakta värden från grafen på ett enkelt sätt. Men, i många fall kan PNG-bilden vara bra nog för att en grov uppskattning av t.ex. vilka hastighetskomponenter som ingår i ditt spektrum. En mer noggrann analys av din data kräver dock tillgång till rådatan. Denna kan du hämta som TXT eller FITS, se nedan.

2.5.2 FITS: Ett vanligt format för astronomidata

En FITS-fil² är ett vanligt format inom astronomi. Detta format erbjuder mest funktionalitet och extrainformation. Det finns två vanliga sätt att öppna FITS-filer från SALSA:

- **SalsaJ** utvecklades inom projektet EU-HOU och kan användas för att öppna FITS-filer från SALSA. SalsaJ är gratis och kräver inga kunskaper om programmering. Programmet

²Flexible Image Transport System (FITS) format. En FITS-fil innehåller två delar: en header följd av en binär del med datan. Den binära tabellen kan förstås och visas med FITS-läsande mjukvara, t.ex. med MATLAB - se SALSA-hemsidan.

SalsaJ och utförliga instruktioner för hur du öppnar FITS-filer finns på SALSA-hemsidan <http://vale.oso.chalmers.se/salsa/software>.

- **SalsaSpectrum** SalsaSpectrum är ett verktyg, skrivet i det populära programspråket MATLAB, som kan användas för att visa och analysera data från SALSA. För användare som är vana vid MATLAB så är detta troligen den bästa lösningen eftersom det både finns möjligheter att göra figurer och skriva egna program. Med detta verktyg så är det möjligt att analysera många spektra på en gång och lätt att visa resultaten. SalsaSpektrum-verktyget finns att hämta via SALSA-hemsidan, och där finns också utförlig dokumentation som beskriver hur verktyget kan användas. Vänligen notera att MATLAB kräver inte är gratis utan kräver en licens för att kunna användas - Observatoriet kan inte erbjuda licenser för MATLAB.

2.5.3 TXT: Textfiler

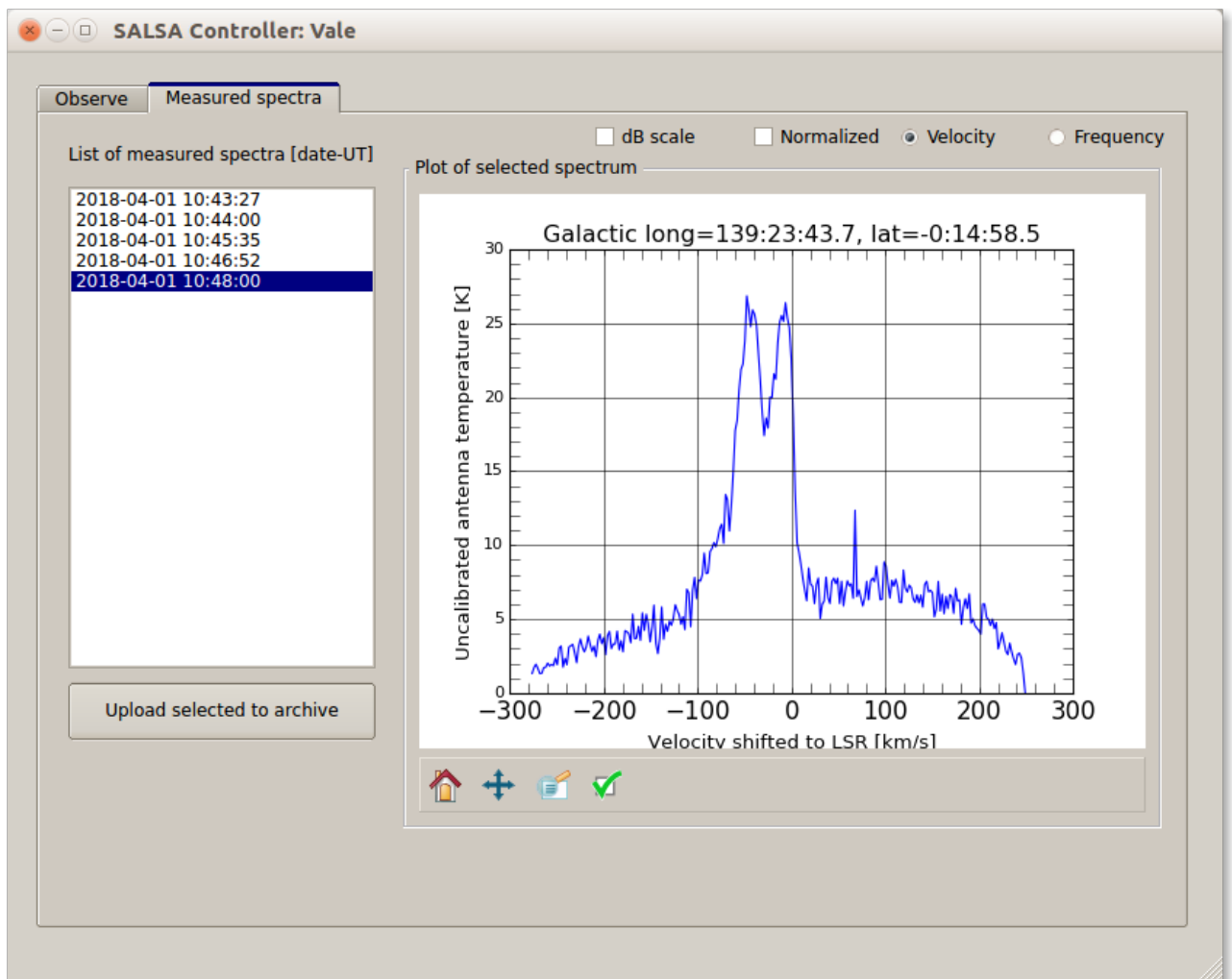
TXT-formatet innehåller ditt spektrum som ren text, d.v.s. som en lista av hastigheter och intensiteter. Detta är ett enkelt format och det går att använda tillsammans med PNG-filerna för att få bra uppskattningar av hastigheter för de olika topparna i spektrat. Titta först i PNG-bilden för att få en grov uppskattning om var topparna är. Läs sedan av de exakta värdena i TXT-filen. Om du kan programmera så kan du också skriva egen kod för att visa datan i TXT-filerna i ditt favoritspråk.

Python

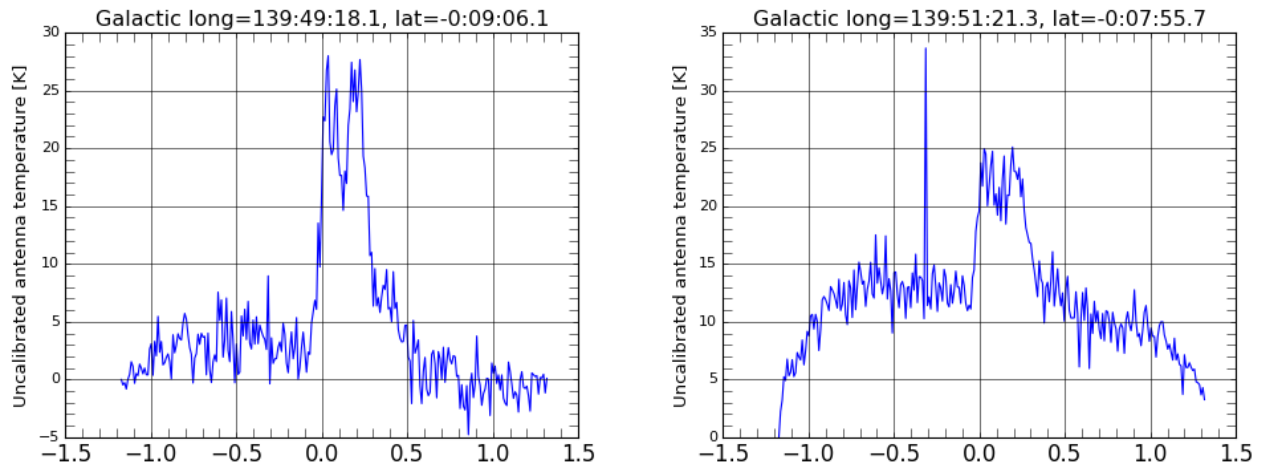
Om du är bekant med programspråket Python så kan du läsa FITS-filer genom att använda biblioteket *astropy.io.fits*. Var dock noga med att kontrollera att du läser in eventuell VLSR-korrektion och referenspixlar på rätt sätt. Du kan jämföra med resultatet i TXT och PNG-filerna. Du kan också läsa TXT-filerna direkt och plotta dem med python. Om du vill analysera många FITS filer med python så kanske du kan få användning för de skript som Michael Olberg gjort för SALSA, de finns tillgängliga här: <https://github.com/molberg/salsa>.

2.5.4 R

Om du är bekant med programspråket R så kan du läsa in FITS filerna med R. Här kanske du kan få användning för skript som gjorts av Michael Olberg, som du hittar på <https://github.com/molberg>



Figur 2.4: Fliken *Measured spectra* i kontrollprogrammet. Till vänster visas en lista över alla mätningar som gjorts i denna session. Till höger visas det spektrum som är markerat i listan. Du kan välja ett annat spektrum genom att klicka i listan. Nere till vänster finns en knapp för att spara det markerade spektrumet genom att ladda upp det till webarkivet.



Figur 2.5: RFI-borttagning i SALSA. Spektrat på vänster sida erhöles med standardinställningar där RFI filtreras bort. Det andra spektrat är ett resultat av en efterföljande mätning där alternativet RFI-borttagning avaktiverats. Man kan identifiera en smal och stark topp som är resultat av störningar som genereras av en extern radiokälla.

Kapitel 3

Tekniska specifikationer

SALSA Onsala är en modifierat TV-antenn med diameter 2.3 m som är utvecklad för mätningar vid frekvensen 1420 MHz.

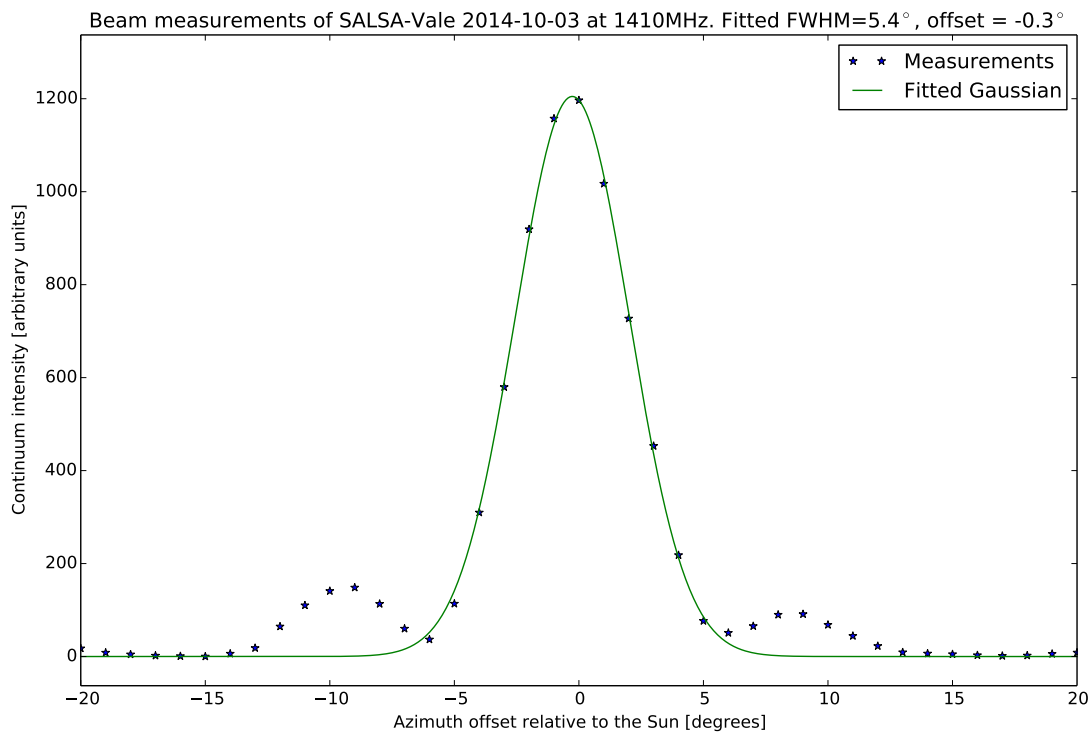
3.1 Vinkelupplösning och precision

SALSA har en vinkelupplösning på ca 6° (*full width half maximum*) vid 1420 MHz. Detta värde har uppmätts genom observationer av solen, se Fig. 3.1. För att jämföra, kom ihåg att fullmånen har en vinkelutsträckning på ca en halv grad, eller 30 bågminuter. Motorerna trackar i steg om 0.125° , och detta är alltså teleskopets precision vid ideala förhållanden. Men, om det är blåsig¹ så kan teleskopet röra sig lite i vinden (kring den önskade positionen) och då störa riktningen på teleskopet under små tidsintervall med ca $1\text{--}2^\circ$. Detta bör dock inte vara något problem för användare då rörelserna från vinden är mindre än teleskopets vinkelupplösning.

3.2 Frekvensupplösning och precision

SALSA använder enheten *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) för att göra mätningar. Denna USRP fungerar som en sampler som spelar in en tidsserie till hårddisken på kontrollatorn. Kanaliserandet, alltså bildandet av ett spektrum, görs genom mjukvara (FFT). Detta innebär att antalet kanaler inte är fixerat, och inte heller bandbredden. Frekvensupplösningen är begränsad av ledigt hårddiskutrymme och beräkningskapaciteten hos kontrollatorn. Upp till 10 MHz bandbredd med 8192 kanaler har testats, men för de flesta observationer så räcker det utmärkt med standardinställningarna på 2 MHz bandbredd och 256 kanaler, d.v.s. en frekvensupplösning på 7.8 kHz per kanal. Om en högre upplösning krävs så kan det väljas under fliken *Advanced* i rutan *Receiver control* i kontrollprogrammet, men vi erbjuder i skrivande stund ingen support för dessa avancerade inställningar.

¹Du kan kolla hur mycket det blåser vid SALSA just nu på <http://wx.oso.chalmers.se/weather/>



Figur 3.1: Antennresponsen för teleskopet Vale uppmätt med Solen vid 1410 MHz. En gaussisk anpassning ger $\text{FWHM}=5.4^\circ$. Sidloberna av Sinc-function kan ses tydligt, precis som väntat för en cirkulär apertur.

3.3 Fluxkalibrering och osäkerhet

SALSA är för närvarande INTE NOGGRANNT FLUXKALIBRERAT. Detta innebär att SALSA endast ska användas till att mäta HI-hastigheter, inte HI-antenna temperaturer. Vi planerar att kalibrera SALSA i framtiden, men teleskopet genomgår fortfarande förändringar vilket gör det opraktiskt att kalibrera det nu. När det är kalibrerat så kommer denna manual att uppdateras med relevant information.

Bilagor

Bilaga A

Himmelssfären och astronomiska koordinatsystem

A.1 En position på jorden

Jordekvatorn definieras som storcirkeln som ligger halvvägs mellan nord- och sydpolen. Meridianen definierades 1884 som den halvcirkel som går genom polerna och “Old Royal Observatory” i Greenwich, Storbritannien.

En position på jordens yta är unikt bestämd av tre storheter: longituden λ , latituden ϕ , samt höjden över havsytan, h . Longituden mäts västerut från meridianen till den punkt där longitudcirkels korsar ekvatorn. Latituden är positiv på norra halvklotet och negativ på det södra, och definieras som vinkeln längs longitudcirkeln från ekvatorn till den aktuella positionen.

Onsala Rymdobservatorium ligger några meter över havsytan och har följande longitud och latitud, respektive:

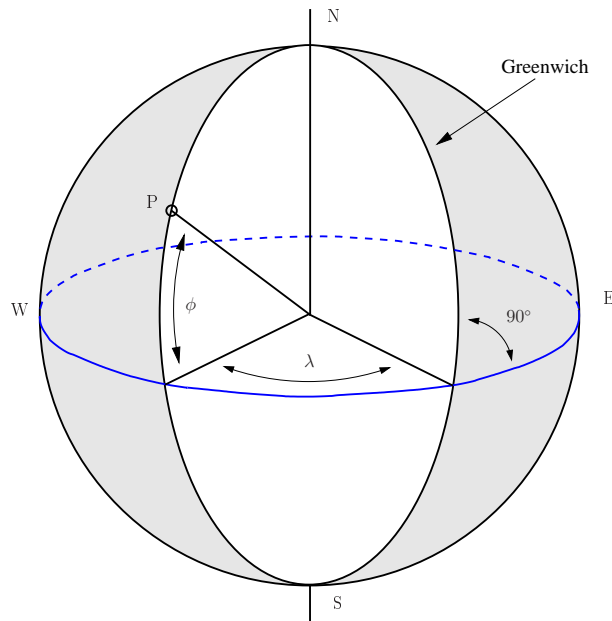
$$\lambda = 12^{\circ}01'00''\text{E} \quad \phi = 57^{\circ}25'00''\text{N}.$$

A.2 Himmelsfären

A.2.1 Ekvatoriella koordinater

Himmelsfären är en inbillad sfär som är koncentrisk med Jorden. På denna sfär är de astronomiska objekten placerade (se Fig. A.2). Himmelsekvatorn är de naturliga förlängningen av jordekvatorn. Eftersom jordens rotationsaxel lutar 23.5 grader jämfört med solsystemsplanet sammanträffar inte ekliptikan (solens banplan) med himmelsekvatorn. Punkten där Solen korsar himmelsekvatorn på väg norrut kallas Vårdagjämningen och inträffar runt den 21 mars. Då ligger solen i jordens ekvatorialplan och dag och natt är lika långa. På väg söderut passerar sedan Solen himmelsekvatorn igen den 21 september (höstdagjämningen). Sommar- och vintersolstånd inträffar då solen är längst bort från himmelsekvatorn och inträffar 21 juni respektive 21 december.

→ Markera norra och södra himmelspolen, himmelsekvatorn, ekliptikan, solstånd samt vår- och höstdagjämningarna i Fig. A.2.



Figur A.1: Illustration av longitud (λ) och latitud (ϕ) på jorden. Storcirklar som går genom polerna är longitudcirklar. Cirklar som är parallella med ekvatorn är latitudcirklar.

Positioner på himmelssfären definieras av vinklar längs storcirklar. Himmelslongituden (rektascension, RA) α för ett astronomiskt objekt definieras i analogi med longitud på jorden. Den mäts österut från vårdagjämningen längs himmelsekvatorn. RA uttrycks i timmar, minuter och sekunder där 24 timmar motsvarar hela varvet, 360° .

I analogi med latitud definieras himmelslatitud (deklinationen) som vinkelavståndet till ett objekt från himmelsekvatorn. Tillsammans bestämmer RA och deklinationen fullständigt en position på himmelssfären.

Tänk dig nu att vi befinner oss på en plats P på jorden vid latituden ϕ , och att vi vill observera himlen. Ett astronomiskt objekt med deklinationen δ når då sin maximala höjd över horisonten h_{\max} , och minimala höjd h_{\min} enligt

$$\begin{aligned} h_{\max} &= 90^\circ - |\phi - \delta| \\ h_{\min} &= -90^\circ + |\phi + \delta|. \end{aligned} \tag{A.1}$$

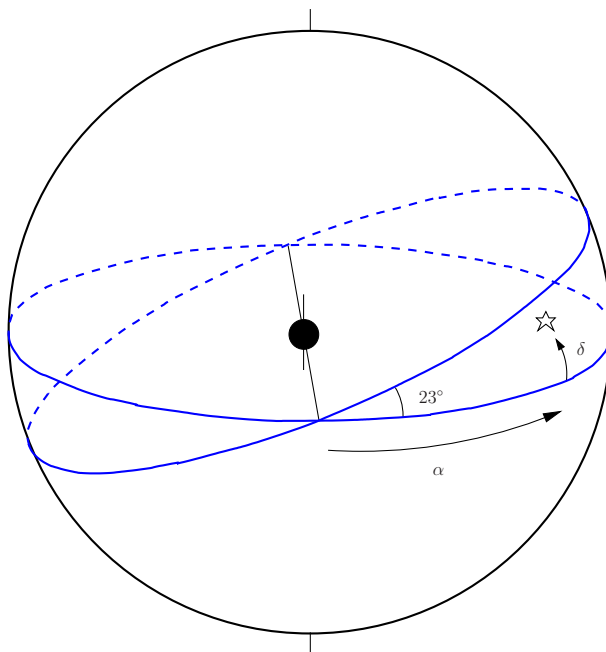
→ I Onsala stannar alltid astronomiska objekt med $\delta > 33^\circ$ alltid över horisonten (de är circumpolära);

→ de med $\delta < -33^\circ$ kommer aldrig över horisonten.

A.2.2 Den lokala stjärntiden

Anledningen till att man mäter RA österut är att det gör himmelssfären till en urtavla. Visaren är den **lokala meridianen** (nord-syd linjen som går genom observatörens zenith).

Vid vårdagjämningen är den lokala stjärntiden (LST) 0 timmar. Detta inträffar klockan tolv (soltid).



Figur A.2: Det ekvatoriella koordinatsystemet, med RA α och deklination δ . Jorden ligger i centrum. Ekliptikans plan lutar 23.5° jämfört med jordens ekvator.

När tiden går kommer astronomiska objekt på den lokala meridianen ha en större RA. Vid varje tillfälle och vid varje plats på jorden är alltid LST lika med RA för de astronomiska objekten på den lokala meridianen.

“Himmelsklockan” går fortare än solklockan varje dag. Detta kommer sig av att jorden roterar både runt sin egen axel och runt solen, vilket illustreras i figur A.3. Efter 24 timmar soltid har en plats på jorden samma soltid igen (ett dygn). Men 24 timmar stjärntid går ungefär fyra sol-minuter fortare, eftersom vi inte behöver vrida oss lika långt för att komma till samma position relativt stjärnorna. 24 timmar LST motsvarar därför 23 timmar 56 minuter och 5 sekunder soltid. Varje dag inträffar en LST tid fyra minuter (soltid) tidigare än dagen innan.

Vid vårdagjämningen är alltså LST 0h vid soltiden 12h. Nästa dag vid 12h soltid är LST 0h 3min 56s. För varje månad inträffar en LST tid 2 timmar tidigare.

A.2.3 Hur kan jag veta om min källa är synlig?

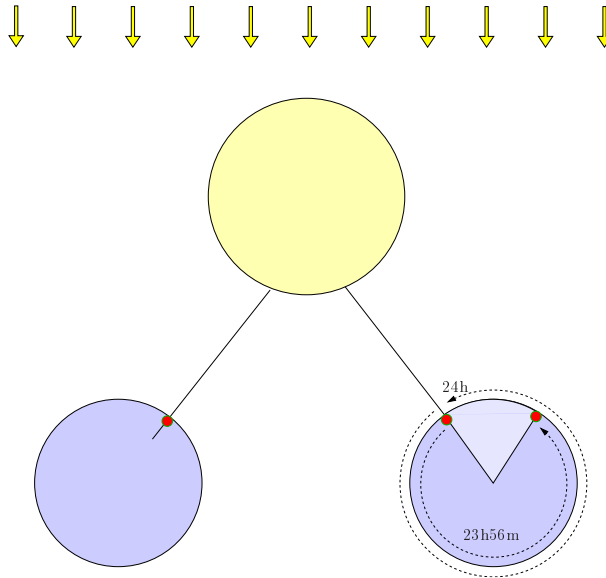
Anta att vi vill observera i en viss riktning i det galaktiska planet (en viss longitud l och latitud $b = 0$), vid en viss tidpunkt.

Först måste vi konvertera Våra galaktiska koordinater till ekvatoriella koordinater (RA & DEC). För att förenkla har vi räknat ut RA & DEC för ett antal galaktiska longituder i planet. Dessa finns i tabell A.1.

Som vi redan sett kan man inte observera källor som alltid ligger under horisonten i Onsala (de med $\delta < -33^\circ$).

Det bästa sättet att lära sig hur det fungerar är att studerar några exempel!

Example 1. Idag är julafton och jag har tillgång till ett litet optiskt teleskop. Jag skulle



Figur A.3: Den lokala stjärntiden (LST) är definierad relativt stjärnorna, medan soltiden definieras relativt solen. 24 timmar LST-tid motsvarar bara 23 timmar 56 minuter 05 sekunder soltid.

vilja observera den vackra “virvelgalaxen” M51. Är det möjligt?

M51 har koordinaterna $\alpha \simeq 13 \text{ h } 30\text{m}$, $\delta \simeq +47^\circ$. Det betyder att M51 kommer att vara som högst över horisonten vid LST=13 h 30.

LST= 0 h vid = 12 h den 21 mars.

LST= 0 h vid $12 - (2 \times 9) = -6 \text{ h}$ (eller $24 - 6 = 18 \text{ h}$) runt 21 dec eftersom det är nio månader efter den 21 Mars, och LST går 2 timmar fortare varje månad.

LST=13 h 30 vid $18+13 \text{ h } 30 = 7 \text{ h } 30$.

M51 kommer att vara som högst på himlen på morgonen klockan 7h30 och kommer att stiga under den andra delen av natten,

l	$\alpha(J2000)$	$\delta(J2000)$
$^{\circ}$	h m	$^{\circ} \quad '$
0	17h45	−28:56
20	18h27	−11:29
40	19h04	06:17
60	19h43	23:53
80	20h35	40:39
100	22h00	55:02
120	00h25	62:43
140	03h07	58:17
160	04h46	45:14
180	05h45	28:56
200	06h27	11:29
220	07h04	−06:17
240	07h43	−23:53
260	08h35	−40:39
280	10h00	−55:02
300	12h25	−62:43
320	15h07	−58:17
340	16h46	−45:14

Tabell A.1: Konversion mellan galaktiska koordinater till ekvatoriella koordinater för olika l med $b = 0$. Longituderna i grön fetstil är cirkumpolära i Onsala, och de i rött kommer aldrig över horisonten.