

Reflexiones relativas al desarrollo de un programa de control para el radiotelescopio de 40 m del CAY

Pere Planesas
Informe Técnico del CAY 2003-1

2003.04.21 v0.2

Introducción

Se enumeran una serie de ideas preliminares a considerar en la concepción y desarrollo del programa de control y la generación de los resultados calibrados de las observaciones.

Etapas

Diseño conceptual

Definir el problema a resolver:

1. Acciones que debe realizar.
2. Programas con los que debe interaccionar
3. Equipos con los que debe interaccionar.
4. Interacción con los usuarios.
5. Arquitectura: contemplar las operaciones de upgrade, test y debugging.

Definir el entorno de desarrollo del software, teniendo en cuenta:

1. Dominio actual o facilidad de aprendizaje.
2. Previsible larga vida de cada elemento del entorno.
3. Interfaseado con C y Fortran77, a fin de aprovechar software existente.
4. Posibilidad de embeber documentación extraíble en el propio código.
5. Conveniencia o no de usar recursos específicos del sistema operativo.

Ejemplo: sistema operativo linux (Debian), GUI en tk, scripts en Python, cálculos en C, bases de datos en MySQL, documentación en pdfL^AT_EX, figuras en gnuplot, Incluye elementos específicos del s.o.: MySQL, gnuplot.

Nota: Python dispone de una serie de módulos que [en principio] permiten la realización de cálculos numéricos (SciPy, NumPy), interacción con MySQL (psql), interfaseado con Fortran (PyFor, f2py) y con Pgplot (ppgplot). Hay que comprobar su adecuado funcionamiento. También es necesario interfasear Python con algún GUI.

Realizar una demostración práctica sencilla del entorno elegido.

Ejemplos:

1. Introducción en un GUI del nombre de una fuente y un catálogo (con valor por defecto) y consulta de sus coordenadas en una base de datos (catálogo). Representación gráfica de las coordenadas.
2. Selección en un GUI del modo de observación de conmutación en posición, con valores por defecto y la modificación de algunos de ellos. Debe generarse un script con la orden final, su descomposición en operaciones elementales y el envío de una tabla a otro programa/cola/ordenador.

Recabar información acerca de desarrollos recientes similares. *Ejemplo: APEX.*
Especificar los procedimientos de prueba y validación.
En caso necesario, adquirir manuales e instalar los entornos de desarrollo.

Diseño preliminar

Definir los productos a desarrollar:

1. programa de control,
2. programas de generación y validación de resultados,
3. programas de consulta y conversión de formatos,
4. otros.

Especificar las características de cada programa.

Identificar las situaciones de uso (ver más abajo: “Modos de observación”, etc).

Confirmar las herramientas de desarrollo.

Identificar los paquetes (tareas, programas, pruebas) específicos a desarrollar:

1. interacción con el usuario
2. gestión de scripts
3. cálculo de coordenadas verdaderas
4. consulta de catálogos
5. almacenamiento de los datos obtenidos (astronómicos, ingenieriles)
6. formato final de los datos (MBFITS?)
7. preprocesado, control de calidad y visualización en tiempo real de los datos obtenidos

8. modos de observación (incluida la holografía)
9. observaciones de VLBI
10. observaciones de caracterización de la antena.

Cruzar “paquetes” con “entornos” para ver su consistencia y completitud.
Realizar un plan de elaboración (cronograma) y la división de trabajo.

Modelo de desarrollo

Desarrollo de una primera versión funcional.
Construir librerías de tareas comunes frecuentes a fin de estandarizar.
Aplicación de los procedimientos de prueba y validación.
Prueba de su integración con los demás productos/programas con que deba interaccionar.
Documentación de todos los desarrollos y pruebas realizados.
 Construcción del resto del producto: ampliar, probar, modificar, refinar.
 Pruebas con usuarios experimentados ajenos al desarrollo.
 Documentación para programadores y para usuarios.

Modelo operacional

Transición a software operacional.
 Simulaciones y pruebas intensivas con usuarios de diversa experiencia.
 Documentación para los usuarios.

Algunos problemas concretos

Sincronización de la toma de datos y los movimientos de la antena.
 Sincronización de la toma de datos para vlbi, el control de la antena y los movimientos de ésta.
 Posibilidad de almacenar los datos en bases de datos (datos brutos, datos calibrados, parámetros ingeniería, catálogos de fuentes/rayas, etc). La base de datos debería ser independiente de la aplicación específica.
 Considerar diferentes modos de acceder al programa de control: observador, supervisor, diagnóstico, monitor (cf. Planesas, Informe Técnico CAY 1992.5, apartados 3, 8 y 9).
 Edición de la cola de observaciones en espera: eliminar una observación concreta, sustituirla, interrumpir transitoriamente la ejecución de la cola, eliminar la cola, ...

Obtener del ACU todos los parámetros del estado actual disponibles/relevantes: acimut, altura, posición foco, velocidades, activación frenos,

Estudiar la posibilidad de modos de observación remota y automática (CAY 1992.5 apartado 9).

Algunos aspectos adicionales han sido descritos en CAY 1992.5, apartados 3, 4.7, 6 (excepto 6.6), 8 a 12. Algunos comentarios han quedado obsoletos, pues fueron escritos hace 11 años y el campo del software y hardware ha avanzado mucho desde entonces.

Representación de la posición relativa de las fuentes de catálogos mediante un programa astronómico (KStars, xephem).

Modos de observación

Observaciones necesarias para la caracterización inicial de la antena

Los parámetros de la antena que deben ser determinados al inicio son:

1. modelo de apuntado
2. curva de enfoque
3. eficiencias (antena, haz principal, spillover, bloqueo)
4. acoplamientos (Luna, cielo, cargas, planetas) y dilución del haz en fuentes de tamaño medio
5. tamaño del haz
6. forma del diagrama de haz (simetría, lóbulos, haz de error)

Los parámetros de cada receptor que deben ser determinados son:

1. temperatura del receptor
2. temperatura del sistema
3. reducción del ruido con el tiempo
4. varianza Allan en función de la frecuencia y el ancho de banda
5. fluctuaciones de ganancia
6. razón de ganancias entre las dos bandas laterales

7. plano de polarización (en el tránsito meridional)

Los parámetros de la atmósfera a determinar, a cada frecuencia en un día dado, son:

1. temperatura de la atmósfera
2. opacidad en cada banda lateral
3. refracción atmosférica

Para ello es necesario:

1. poder realizar el seguimiento de cuásares, planetas y la Luna
2. conocer la temperatura de la carga caliente y la de la carga fría

Las observaciones básicas son:

Apuntado Para la determinación del modelo de apuntado general y para la corrección de apuntado local durante una observación. Es útil también para la determinación de eficiencias y el tamaño del haz principal. Es necesario para determinar la corrección de apuntado entre distintos receptores.

Enfoque Para la determinación de la curva de enfoque en función de la altura, así como para la corrección del enfoque para una observación dada y para un receptor dado.

Skydip Caracterización de la atmósfera en un instante dado a una frecuencia dada.

Haz El mapa del haz es necesario para la determinación de la forma e intensidad relativa del haz principal, de los lóbulos secundarios y del haz de error a una frecuencia dada. Es también útil para realizar la holografía de la superficie de la antena.

Y La conmutación a las cargas caliente y fría es necesaria para determinar la temperatura de cada receptor (parámetro Y).

ON-OFF La conmutación espacial en radiocontinuo es necesaria para la determinación de las eficiencias y acoplamientos (e.g., a la Luna) de la antena a una frecuencia dada.

En una segunda fase será necesario conocer la respuesta espectral de los receptores que vayan a ser usados en espectroscopía. Para ello serán necesarias las observaciones básicas:

ON-OFF La conmutación espacial en espectroscopía permite determinar la estabilidad de los receptores para distintos tiempos de conmutación y con presencia/ausencia de una fuente de continuo puntual.

Conmutación_en_frecuencia Permite evaluar el rango de sintonía de los osciladores locales y la detección de interferencias monocromáticas.

Otras medidas que habrá que realizar estarán destinadas a determinar:

1. Consistencia entre los resultados de las medidas realizadas empleando distintas estrategias o modos de observación.
2. Derivas térmicas en las transiciones orto/ocaso, estacionales, orientación de la antena relativa al Sol.
3. Linealidad en la calibración.
4. Presencia de ondas estacionarias.
5. Interferencias de origen terrestre o de satélites.
6. Exploración de la banda de los receptores (características de la sintonización, razón de ganancias, fluctuaciones, comportamiento de la atmósfera, ...).
7. Comportamiento dinámico (inercia, ...) de la antena y los servos, a fin de optimizar los tiempos muertos en grandes desplazamientos, inversiones de giro, etc.
8. Alineamiento de los espejos (y puntería relativa entre receptores).

Lista exhaustiva de modos de observación

Los seguimientos previstos son:

1. punto fijo respecto del horizonte,
2. punto fijo del cielo (estrella),
3. punto casi fijo en el cielo (Sol, planeta, asteroide, cometa),
4. la Luna,
5. satélite geostacionario (punto casi fijo respecto del horizonte),
6. satélite no geostacionario,

7. trayectoria arbitraria (respecto del horizonte?).

Modos de observación en continuo:

1. conmutación entre cargas (COLD-HOT) para medida del parámetro Y .
2. conmutación con carga, fría (COLD-ON) o caliente (HOT-ON).
3. conmutación de posición normal (ON-OFF).
4. conmutación de posición con ahorro de movimientos (OFF-ON-ON-OFF).
5. conmutación de posición síncrona, con paso por la misma zona del cielo en ON y OFF.
6. conmutación de posición simétrica (OFF1-ON-OFF2), donde dos medidas OFF de mitad de tiempo se toman en posiciones simétricas de la posición ON.
7. conmutación de posición en cruz (4 posiciones OFF alrededor de una posición ON).
8. “raster”: una posición OFF es utilizada por una serie de posiciones ON.
9. barrido: puede ser en acimut, elevación, ascensión recta, declinación, longitud galáctica, latitud galáctica.
10. apuntado: combinación de dos barridos en acimut en direcciones opuestas y dos en altura también en direcciones opuestas.
11. tránsito: barrido en ascensión recta a antena parada.
12. mapa del haz u holografía.
13. “skydip”: típicamente de 1 a 6 masas de aire (hasta 10 grados de altura).
14. enfoque.
15. VLBI.

Una adquisición rápida de datos en una misma posición (OFF+n×ON) puede ser necesaria en ciertas circunstancias:

1. detección de un púlsar (típicamente la duración de un pulso es $P/1000$ siendo el periodo $P > 0,03$ segundos; se suelen usar receptores específicos).

2. centelleo interplanetario (tiempos típicos de unos segundos)

Modos de observación en espectroscopía:

1. conmutación con carga, fría (COLD-ON) o caliente (HOT-ON).
2. conmutación de posición normal (ON-OFF).
3. conmutación de posición con ahorro de movimientos (OFF-ON-ON-OFF).
4. conmutación de posición con paso por la misma zona del cielo en ON y OFF.
5. conmutación de posición simétrica (OFF1-ON-OFF2), donde dos medidas OFF de mitad de tiempo se toman en posiciones simétricas de la posición ON.
6. “raster”: una posición OFF es utilizada por una serie de posiciones ON.
7. “on-the-fly”: se toman datos rápidamente mientras la antena efectúa un barrido del cielo. [Corresponde al barrido en radiocontinuo, pero es mucho más exigente en transferencia de datos al tratarse de uno o varios espectrómetros.] Típicamente se toman datos cada desplazamiento de un ángulo $<HPBW/3$.
8. VLBI espectroscópico.
9. Conmutación en frecuencia asimétrica (la usual, en que la raya aparece en ambas medidas).
10. Conmutación en frecuencia simétrica o doble (tres fases, una centrada en la raya y las otras a cada lado de ella).

NOTAS:

1. muchos de los modos de observación aparecen tanto en radiocontinuo como en espectroscopía. (Cabe examinar si esta circunstancia es aprovechable en general.)
2. Las conmutaciones espaciales pueden realizarse en diversos sistemas de coordenadas: típicamente son en ángulo horario (ascensión recta), pero debe preverse que quieran realizarse además en: declinación, acimut, elevación y latitud galáctica.

3. No se ha considerado el modo “wobbler”, o subreflector nutante, o el modo de conmutación mediante un espejo.
4. Debe preverse el uso de receptores multihaz, pues pueden ser incorporados en el futuro.
5. No se han previsto modos de muy alto nivel tales como:
 - Exploración espectral: observación de una misma posición con cambios de sintonización a fin de cubrir una amplia banda.
 - Mapas irregulares: en que la región es definida por una poligonal cubriendo un área no rectangular (que corresponde al “raster”).
 - La observación en doble banda lateral (DSB) no requiere un modo de observación especial pero sí requiere un procesado automático distinto de los datos para su calibración (e.g.: en continuo se puede calibrar según un promedio de Tcal ponderado por la ganancia relativa de las bandas, en espectroscopía se puede calibrar según una de las bandas).

Descomposición de los modos de observación

Todos los modos de observación enumerados y otros que se pueda considerar oportuno implementar por su elevado uso (e.g.: minimapa de 9 puntos, que es un caso especial de raster) posiblemente puedan ser resumidos en un número reducido de modos de observación muy generalizados; no se recomienda esto sino mantener con claridad lo que hace cada modo de manera que no haya confusión ni se complique innecesariamente su uso.

Los modos de observación deben ser descompuestos en el número mínimo de acciones diferentes a realizar, o modos de observación elementales. Posiblemente éstos sean:

sky observar el cielo

hot observar la carga caliente

cold observar la carga fría

Estas acciones se deben ligar a las previstas por MAN para el control de los servos.

Cada una de las acciones anteriores contiene una larga serie de parámetros de configuración que van más allá de la posición generalizada de los servos “hora+acimut+altura+foco”:

1. modelo de apuntado

2. modelo de enfoque
3. posición de los espejos
4. receptores activados
5. frecuencia de sintonía, banda lateral, etc
6. atenuadores
7. espectrómetros activados
8. parámetros atmosféricos

Procesado automático

Deben establecerse los modos de observación de manera que se pueda establecer un sistema de reducción automática ligado a cada modo (o a un conjunto de modos) a fin de producir un tipo de resultado estandarizado adecuado a lo que pretende cada modo de observación, además de una visualización conveniente del resultado. El ajuste fino de estas reducciones automáticas se realizará en base a la experiencia acumulada y debe documentarse adecuadamente a fin de poder reducir de nuevo los datos brutos en base a nuevos parámetros. Conviene pensar una estrategia adecuada para ello.

Debe establecerse un control de calidad de los resultados, que examine la presencia de saltos (spikes), ruido excesivo o cualquier otra anomalía, generando una etiqueta de calidad y, si es preciso, un aviso.

Deben almacenarse datos de ingeniería relevantes y debe generarse un resumen periódico de ellos (e.g. cada semana). Análogamente para datos de uso del telescopio y de cada receptor.

Documentación

Información bibliográfica o de otro tipo a recabar.

1. Emisión de los planetas y la Luna en todo el rango de frecuencias de funcionamiento del radiotelescopio. En el caso de la Luna debe desarrollarse un simulador que genere un mapa de su superficie en función de la fase y la frecuencia. En el caso de los planetas deben tenerse en cuenta las rayas atmosféricas relevantes en cada uno de ellos.

2. Emisión y absorción de la atmósfera terrestre en todo el rango de frecuencias de funcionamiento del radiotelescopio. Estimar sus características en función de las condiciones medias de la atmósfera en Yebes a lo largo del año estacional. Tabular las rayas de ozono.
3. Obtener catálogos de posiciones de cuásares y otras fuentes de radiocontinuo. Encontrar lugares en la WWW donde se puedan obtener valores de los flujos actualizados (patrullaje continuo) de los cuásares.
4. Documentarse sobre el formato MBFITS que previsiblemente van a usar IRAM, APEX y otros observatorios para intercambio estandarizado. Indagar sobre el plazo en que CLASS (o su sucesor) va a adoptar este formato.
5. Buscar/obtener un programa de reducción para determinar los parámetros de nuestro modelo de apuntado.
6. Preparar los protocolos de caracterización de cada uno de los parámetros de la antena. Tener en cuenta la secuencia de disponibilidad (año?) de receptores en las diversas bandas.

Otros desarrollos

1. Estimador de tiempo de observación: dados un receptor (o combinación de ellos), un espectrómetro (o varios), unas condiciones atmosféricas, una altura media de observación (o una declinación), la resolución en velocidades y un ruido (en alguna escala) a alcanzar. Dar también una estimación de tiempos perdidos (overheads) y sugerir cadencias de comprobación de apuntado y otras operaciones relevantes.
2. Programador de la secuencia de observaciones: dadas una serie de fuentes y el tiempo total de observación en cada una de ellas, producir la secuencia en que deben ser observadas para minimizar el tiempo total de observación (incluidos desplazamientos, etc) teniendo en cuenta (como peso) el que las fuentes deben ser observadas en condiciones razonables (en cuanto a altura) aunque no sean óptimas.
3. Programador de la secuencia de observaciones destinadas al modelo de puntería: en este caso se necesita realizar un recubrimiento de todas las direcciones del cielo a partir de un catálogo de fuentes intensas, minimizando el tiempo total de observación y teniendo en cuenta que mientras ésta se realiza (lo cual puede requerir algunas horas), la distribución inicial de fuentes varía (cambian de altura, unas salen y otras se ponen, ...). Se trata de conseguir un

recubrimiento homogéneo de una semiesfera y minimizar la duración total de la secuencia.

4. Establecer listas de calibradores primarios (intensos) y secundarios en función de: frecuencia de observación, modo continuo/espectral, finalidad (calibración absoluta, apuntado, ...).