

Búsqueda general con la cámara mosaico CCD del telescopio Schmidt de 1m del Observatorio Nacional de Venezuela

I. Ferrín y C. Leal

Facultad de Ciencias, Departamento de Física, Centro de Astrofísica Teórica, Universidad de Los Andes Mérida, Venezuela

J. Hernandez

Centro de investigaciones de astronomía, CIDA, Mérida, Venezuela

Recibido el 25 de noviembre de 2003; aceptado el 12 de octubre de 2004

En el presente trabajo se muestran los resultados del programa de búsqueda y seguimiento de diversos objetos astronómicos: estrellas variables, supernovas y objetos en movimiento dentro del Sistema Solar. Para ello estamos utilizando el telescopio Schmidt de 1m de diámetro del Observatorio Nacional de Venezuela, el cual tiene acoplado una cámara mosaico CCD de 67 Megapíxeles, en un arreglo de 4×4 CCDs, cada uno de 2048×2048 píxeles. Hasta la presente hemos detectado 372 nuevas estrellas variables, una de las cuales fue identificada como una radiofuente, y el resto son muy probablemente estrellas ráfagas de muy corto periodo. Dentro del Sistema Solar hemos encontrado TNOs (Trans-neptunianos), NEOs (Near-Earths-Objects), cometas y asteroides del cinturón principal. Se diseñó un programa de búsqueda automática para optimizar el procesamiento de los datos. La cámara ya ha demostrado sus grandes posibilidades de observación, siendo sus descubrimientos mas representativos 12 nuevos asteroides, 372 estrellas variables y el TNO 38628 Huya.

Descriptores: Sistema Solar; TNOs; cámara CCD.

In the present work we report the result of our search and follow up program of several types of astronomical objects: variable stars, supernovas, and moving objects inside the solar system. We used the 1 m Schmidt telescope of the National Observatory of Venezuela which has attached a Mosaic CCD Camera of 67 Megapixels, in an array of 4×4 CCDs, each of 2048×2048 pixels. Up to now we have detected 372 variable stars, one of which has been identified as a radio source, and the rest are very probably flare stars of very short period. Inside the solar system we have found TNOs (trans-neptunian objects), NEAs (near earth asteroids), comets and asteroids of the main belt. We have written a software program to detect automatically moving objects, to optimize the data processing. The camera has demonstrated its great observational possibilities, being its most representative discoveries 12 new asteroids, 372 variable stars, and the TNO 38628 Huya.

Keywords: Solar System; TNOs; CCD camera.

PACS: 95; 95.55Br; 96; 96.30.-t

1. Introduction

El Observatorio Nacional de Venezuela cuenta entre sus instrumentos con un telescopio Schmidt, cuya placa correctora es de 1m de diámetro con espejo reflector principal de 1.5 m de diámetro. Los telescopios Schmidt, por su gran campo de observación (típicamente 5°), han sido utilizados tradicionalmente para búsquedas de diferentes tipos, cubriendo grandes áreas del cielo.

Quizás uno de los ejemplos más significativo de examen celeste es el Palomar Observatory Sky Survey (POSS), el cual fue el primer proyecto moderno con la intención de cubrir todo el cielo con placas fotográficas. Para ello se utilizó el telescopio Schmidt Oschin, de 1.2 m de diámetro de Monte Palomar. Las placas así obtenidas fueron digitalizadas para obtener el Hubble Space Catalog: un catálogo de referencia que a sido ampliamente utilizado para propósitos astrométricos. Varios telescopios Schmidt están siendo utilizados actualmente para buscar NEAs, asteroides que puedan ser potencialmente peligrosos para la Tierra (Stokes *et al.* 2003).

2. Instrumentación

El telescopio Schmidt de Venezuela es el 5° en tamaño del mundo. Fue fabricado por la casa alemana Askania, y es el

único situado en el ecuador a 3600 m de altura sobre el nivel del mar. Esto le da la enorme ventaja de poder observar tanto hacia el hemisferio norte como hacia el hemisferio sur. Dado que su distancia focal es de 3 m, su cociente focal es $f/3$, relativamente rápido. La placa correctora superior es de 1 m de diámetro, mientras que el diámetro del espejo principal es de 1.5 m, lo cual evita la pérdida de luminosidad en el borde del campo. El tubo que encierra los elementos ópticos tiene una longitud de 7 m y a mitad de camino se encuentra el soporte para la cámara digital.

A partir del año 1999, la colaboración QUEST, un consorcio de 4 instituciones, la Universidad de Yale, la Universidad de Indiana, la Universidad de Los Andes y el Centro de Investigaciones de Astronomía (que opera en el Observatorio Nacional), instalaron y pusieron en funcionamiento una cámara CCD de gran formato totalmente automatizada, la cual ha sido utilizada para llevar a cabo grandes rastreos del cielo. La cámara YIC (Yale, Indiana, CIDA) consiste en un arreglo de 16 CCDs en un formato de 4×4 , con 2048×2048 píxeles cada uno, para un gran total de 67 megapíxeles, siendo una de las pocas cámaras mosaicos que existen en el mundo para uso astronómico. El tamaño de los píxeles es de 15 micrones, lo cual le da una escala en el cielo de 1.034 segundos de arco por píxel. Por tanto, cada imagen cubre 0.588×0.588 grados, o un área de 0.346 grados cuadrados por cuadro. Los

CCDs utilizados en la cámara YIC son de iluminación frontal y tienen un recubrimiento para mejorar la sensibilidad en el ultravioleta.

La cámara mosaico trabaja en modo Drift-Scan (Fig. 1). Esto significa que el telescopio permanece quieto en el cielo, mientras éste pasa. El tiempo de exposición por cuadro en el ecuador es de 142 seg, y varía con la declinación como el $\cos(\text{Dec})$. De este modo se pueden generar imágenes que pueden llegar a tener 2.2 grados de ancho por 12 horas de longitud, pudiéndose obtener 1216 imágenes por noche, que con un tamaño de 8.5 Megabites cada una representan 10.3 Gigabites, un valor notablemente grande que produce numerosas dificultades en el momento del procesamiento. Se realizan entre 2 y 3 rastreos por noche, separados por 1.5 horas cada uno. Sin embargo, típicamente cubrimos 50 grados cuadrados por noche.

Los 16 CCDs están colocados sobre 4 dedos móviles que permiten el ajuste de las columnas a diferentes declinaciones. Esto garantiza que se puede trabajar en una banda de ± 12 grados a ambos extremos del ecuador celeste. Cuatro computadores se encargan de recibir los datos y funcionan en el sistema operativo QNX y ambiente Linux, los dedos y los CCDs están enfriados típicamente a una temperatura de -80°C . Se dispone además de un juego completo de filtros UVRI.

3. Procesamiento de los datos

Los datos son bajados en cintas DLT, típicamente al día siguiente de ser tomados. Estos datos son introducidos en una Pentium IV, la cual contiene el software de procesamiento. Varios programas son utilizados: IRAF, MaximDL, Qmips32, Pinpoint, Astrométrica, y un programa autóctono denominado Offline. Además se utilizan programas de soporte adicionales escritos en Fortran.

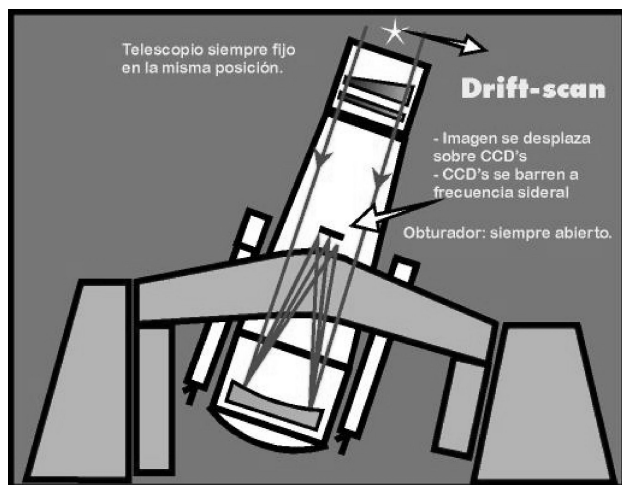


FIGURA 1. Diagrama esquemático del funcionamiento del telescopio Schmidt de 1m, con la cámara mosaico CCD en modo Drift-Scan. El telescopio permanece fijo mientras que la electrónica lee los CCDs al ritmo del cielo dependiendo de la declinación.

Las imágenes son procesadas en forma cruda, sin bordear ni oscurecer para propósitos de detección. La razón de esto es que cualquier operación matemática que se lleve a cabo sobre la imagen, aumenta el ruido y disminuye la detectabilidad. De esta manera, la magnitud límite de nuestros rastreos es de 20.2 sin filtro.

Se ha escrito un programa de detección automática en Fortran, el cual tiene por objetivo detectar objetos en movimiento dentro del Sistema Solar. Aun cuando este tipo de programas pueden ser muy efectivos para detectar objetos en movimiento, sufren típicamente de dos dificultades. La primera de ellas es cuando un asteroide se encuentra cercano a una estrella y el software no es capaz de separarlos. Este problema ocurre principalmente en campos congestionados, cercanos a la galaxia, y es más frecuente de lo que uno desearía. Hasta un 10% de objetos pueden perderse por esta causa. El segundo problema de un programa de detección automática se encuentra en la detección de objetos débiles. Esto se debe a que hay que escoger una señal sobre ruido (S/N) para la detección. Si este valor es muy pequeño, se detecta una enorme cantidad de basura que produce una enorme cantidad de falsos positivos. Si el valor se escoge demasiado alto, entonces se pierden objetos débiles. El valor óptimo se obtiene después de tanteo y error.

Otra de las dificultades de los procedimientos de detección automática es que éstos son específicos a objetos (por ejemplo asteroides). Por tanto, tienen dificultades para detectar NEAs, estrellas variables, supernovas, novas, etc. Por eso, en ciertas ocasiones y para propósitos específicos hemos utilizado el método de *blinqueo* y sustracción para procesar las imágenes. En ambos métodos las imágenes deben ser registradas previamente. Ambos métodos han dado excelentes resultados.

4. Eficiencia

La magnitud límite del telescopio es un parámetro fundamental para determinar su efectividad de descubrimiento. Ésta se determina por medio de la eficiencia (Fig. 2). Para cada imagen se determina la magnitud de los asteroides detectados utilizando la base de datos del Central Bureau for Astronomical Telegrams (CBAT). Dado que la cámara es utilizada sin filtro, la sensibilidad se corresponde exactamente con la eficiencia cuántica del CCD. El máximo de eficiencia cuántica está en el rojo y por tanto los CCDs actúan como un filtro R, pero de banda ancha.

La Fig. 2. muestra el conteo de los asteroides del cinturón principal detectados como función de la magnitud R . La magnitud límite se define como la eficiencia al nivel del 50%. De este modo encontramos una magnitud límite de 20.4, mientras que nuestra eficiencia en magnitudes inferiores a 18 es del 100%. Estos valores suponen que el objeto es puntual y no está arrastrado. De otro modo se pierde magnitud debido a que la intensidad no está distribuida puntualmente. Nuestros tiempos de exposición son lo suficientemente cortos para que los objetos del cinturón principal y más lejanos aparezcan

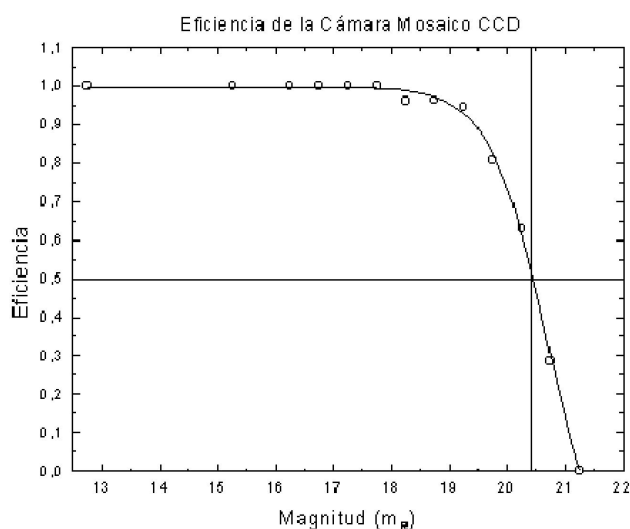


FIGURA 2. Fracción de los asteroides del cinturón principal detectados como función de la magnitud reportada por el Minor Planet Center (MPC). La magnitud límite de 20.4, se define como la eficiencia al nivel del 50 %, la magnitud medida es sin filtro i es equivalente a una magnitud R de banda ancha. Se muestra también la eficiencia del survey LINEAR para comparación. La cola mostrada en la eficiencia de LINEAR no está soportada por argumentos físicos.

como puntuales. Los NEAs inevitablemente aparecen arrastrados y, en consecuencia su detectabilidad disminuye.

La Fig. 2 también muestra la eficiencia del examen LINEAR para comparación (Stokes *et al.*, 2003). Éste muestra una cola a elevadas magnitudes que no está justificada físicamente, puesto que la detectabilidad decae abruptamente a esos valores altos.

5. Resultados

El primer descubrimiento de importancia realizado con este sistema, fue el del objeto transneptuniano 2000 EB 173 = 38628 Huya, el cual resultó ser un plutino en una órbita en resonancia 3:2 con Plutón. Esta resonancia

permite su estabilidad orbital por muchos siglos (Ferrin *et al.*, 2001).

La continuación de nuestro examen aplicado al Sistema Solar dio como resultado el descubrimiento de 12 nuevos asteroides (Ferrin y Leal, 2003), de los cuales 5 han sido detectados en observaciones anteriores y por tanto tienen una órbita bien determinada, y deberán ser nombrados. Ellos son 2003 FD129, 2003 FE123, 2003 FZ128, 2003 JT17, y 2003 QQ105.

Utilizando el método de sustracción de imágenes hemos detectado también 372 estrellas variables tipo rafagas (Ferrin *et al.*, 2003). Llegamos a la conclusión porque las dos imágenes están separadas por 1.5 horas, y el cambio de magnitud está entre 0.10 y 1.5 magnitudes.

En los rastreos del año 2001 de QUEST se descubrieron numerosas supernovas (Schaefer, 2001). Sin embargo, desde entonces no hemos descubierto supernovas adicionales.

Nuestro sistema ha redescubierto independientemente el NEA 2003 QW30 en magnitud 18.9 y el cometa 2003 G1 LINEAR.

En agosto 28.33 de 2003 observamos el asteroide 2002 JP101. Tres imágenes diferentes sin filtro dieron magnitudes de 18.2, 18.2 y 18.1. Tres imágenes independientes tomadas 1.33 horas más tarde dieron magnitudes de 19.4, 19.4 y 19.5. Por tanto el cambio en 1.27 magnitudes es real. Esto implica que el objeto es un rotador rápido, con un período tan corto como 5.33 horas. También significa que el objeto es muy alargado con un cociente de eje mayor a eje menor superior a 3.2. Sin embargo, un cambio de albedo no puede ser descartado. Observaciones adicionales de este objeto, utilizando fotometría diferencial en series de tiempo, serían altamente deseables.

Agradecimientos

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad de los Andes, por su apoyo a través del proyecto de investigación C-1107-01-08-F.

1. G.H. Stokes, J.B. Evans y M.S. Larson, en *Asteroid III*, Bottke W., et al editores, (University of Arizona Press, Tucson, 2003).
2. I. Ferrin, *et al. Ap. J. Letters* **548** (2001) L243.

3. I. Ferrin y C. Leal, MPC 49385 y MPC 48541 (2003).
4. I. Ferrin, *et al.* en preparación (2003).
5. B.E. Schaefer, IAUC 7608, (2001).