

## FastCam: Un instrumento de alta resolución espacial para astronomía

A. PÉREZ GARRIDO<sup>1</sup>, A. DÍAZ SÁNCHEZ<sup>1</sup>,  
J. GARRIGÓS GUERRERO<sup>2</sup>, J. JAVIER MARTÍNEZ ÁLVAREZ<sup>2</sup> E I. VILLÓ PÉREZ<sup>2</sup>

1. Departamento de Física Aplicada. Universidad Politécnica de Cartagena.
2. Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos.  
Universidad Politécnica de Cartagena.

antonio.perez@upct.es; anastasio.diaz@upct.es;  
javier.garrigos@upct.es; Jjavier.martinez@upct.es;  
isidro.villo@upct.es

### Resumen

FastCam es un instrumento de alta resolución espacial desarrollado por la Universidad Politécnica de Cartagena y por el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC). Este instrumento está diseñado para corregir los efectos no deseados que las turbulencias atmosféricas producen en las imágenes astronómicas. FastCam ha sido probada con éxito en telescopios terrestres de 2 a 4 metros de apertura obteniendo imágenes comparables a las obtenidas por el telescopio espacial Hubble.

**Proyecto/Grupo de investigación:** Grupo de investigación de Astrofísica. Entidad financiadora: FUNDACIÓN SENECA. Plan de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia. Código: 08801/PI/08.

**Líneas de investigación:** *Estrellas de baja masa y enanas marrones; Planetas extrasolares.*

## 1. Introducción

La imagen de un objeto astronómico observado por un telescopio situado en tierra siempre está distorsionada debido a las turbulencias atmosféricas. Como

consecuencia, la imagen obtenida nunca alcanza el límite ideal de máxima resolución angular, esto es, la distancia angular mínima a la que tienen que estar dos objetos para poderlos distinguir (resolver). Para un telescopio dado dicho límite, también conocido como límite de difracción, está determinado tan sólo por su diámetro y la longitud de onda de trabajo. A título de ejemplo, un telescopio como el William Herschel, de 4.2 metros de diámetro, tiene un límite de difracción en banda I (797 nm) de  $0,05''$  (segundos de arco); sin embargo, la atmósfera difícilmente permite obtener imágenes de mayor resolución que  $0,6''$ , esto es, las turbulencias atmosféricas han degradado la nitidez de la imagen en un factor 12. Es evidente pues, que la atmósfera se convierte en uno de los principales enemigos de la astronomía observacional.

El proceso físico implicado en la degradación de una imagen astronómica es, en principio, fácil de imaginar. La atmósfera se puede visualizar como un medio con distintas capas a distintas densidades y distintas temperaturas. Inicialmente el frente de onda de un objeto astronómico es plano, pero cuando el frente de onda atraviesa la atmósfera este cruza capas con distintos índices de refracción, además, el viento crea turbulencias que mezclan estas capas produciendo inhomogeneidades. El resultado final es que el frente de onda deja de ser plano y esto se traduce en una imagen borrosa.

Las Figuras 1 y 2 muestran la situación anteriormente descrita. En la Figura 1 podemos ver una imagen no perturbada por la atmósfera. En este caso la imagen de una estrella es un patrón de difracción consistente en un disco central (el disco de Airy) rodeado de anillos concéntricos mucho más débiles. El patrón de difracción es la mejor imagen que podemos obtener de una estrella. Por el contrario, la Figura 2 muestra la misma imagen pero perturbada debido a los efectos de la atmósfera.

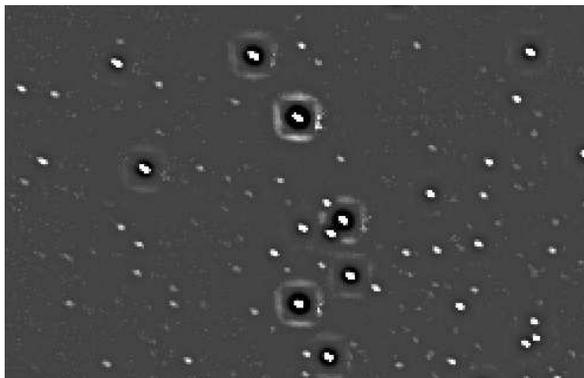


Figura 1: Imagen de un campo estelar al límite de resolución del telescopio. Obsérvese el patrón de difracción en cada estrella.

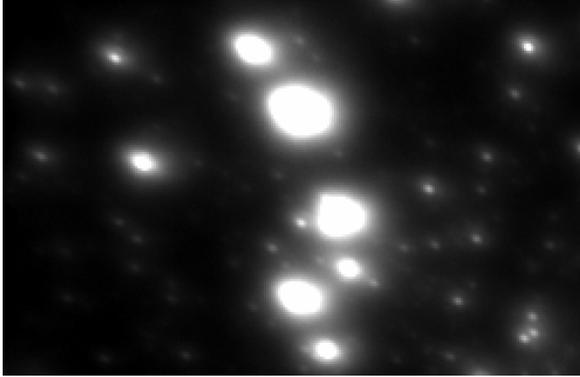


Figura 2: La imagen aparece emborronada debido a los efectos de la atmósfera.

A pesar de la dificultad apuntada, la astronomía de alta resolución angular ( $< 0,1''$ ) presenta un enorme interés científico y comprende investigaciones en multitud de áreas, pero, sin lugar a dudas, el campo de investigación más atractivo es la búsqueda exoplanetas, esto es, planetas que orbitan en torno a otras estrellas distintas de nuestro Sol.

## 2. Corrección de las turbulencias atmosféricas

En los últimos 20 años, gracias al desarrollo tecnológico han surgido diversas técnicas que intentan corregir las distorsiones creadas por la atmósfera. Entre ellas, la óptica adaptativa (Rodier 1999) ha proporcionado muy buenos resultados. Esta técnica usa un sensor de frente de onda que mide la deformación del frente de onda y lo corrige a tiempo real mediante el uso de un espejo deformable. La óptica adaptativa es un sistema muy caro, complejo y limitado a trabajar en el infrarrojo; los mejores resultados se obtienen en bandas H (1600 nm) y K (2200 nm).

En la última década, el desarrollo de la tecnología de sensores CCD (Charge Coupled Devices) ha permitido diseñar nuevos sistemas para corregir las turbulencias atmosféricas. Con una filosofía totalmente distinta a la óptica adaptativa, estos sistemas usan cámaras digitales de lectura rápida y bajo ruido, y se basan en el hecho de que durante intervalos de tiempo muy cortos la atmósfera se hace estable y permite que las imágenes de los objetos astronómicos pasen a través de ella sin ser distorsionadas. Así pues, si con una cámara suficientemente rápida y de bajo ruido se toman miles de imágenes con tiempos de exposición muy cortos (típicamente 30 milisegundos en banda I) se comprueba que alguna de estas imágenes (típicamente el 5%) están muy poco o nada distorsionadas. Si se seleccionan las mejores imágenes y se combinan, el resultado es una imagen que alcanza o se aproxima mucho

al límite de máxima resolución. Esto es, la imagen resultante es de calidad comparable a aquella que se hubiera obtenido en ausencia de atmósfera. Esta idea, conocida como Lucky Exposures Technique o Lucky-Imaging, fue sugerida originalmente por Fried ya en el año 1966 (Fried 1966a-1966b-1978), pero no ha podido ser llevada a la práctica de forma exitosa para objetos débiles hasta el desarrollo y comercialización de los sensores EMCCD (Electron Multiplying CCD), los cuales permiten tiempos de exposición muy cortos con ruidos de lectura prácticamente nulos. La técnica de Lucky-Imaging ha demostrado ser una excelente alternativa a la óptica adaptativa debido a su simplicidad, proporcionando excelentes resultados tanto en el infrarrojo como en el visible.

### 3. FastCam

Basándose en la experiencia del grupo liderado por J. E. Baldwin de la Universidad de Cambridge (Baldwin 2001; Tubbs 2002-2003; Law 2006), el Instituto de Astrofísica de Canarias, en colaboración con la Universidad Politécnica de Cartagena[11], ha desarrollado durante el pasado año un instrumento de alta resolución angular basado en la técnica de Lucky-Imaging. Este instrumento, bautizado con el nombre de FastCam ha permitido obtener imágenes de alta resolución espacial en el rango visible e infrarrojo. La Figura 3 muestra el sistema FastCam montado en el foco Cassegrain del telescopio Carlos Sánchez (1.5 m) del Observatorio del Teide (Tenerife) en su primera luz.

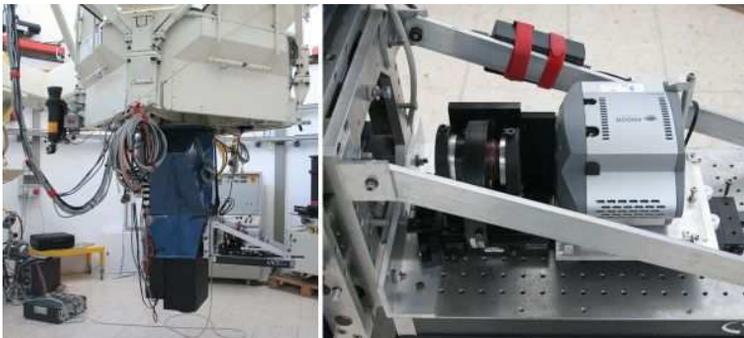


Figura 3: FastCam montado en el foco Cassegrain del telescopio Carlos Sánchez.

Las pruebas realizadas con FastCam en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) con los telescopios Nórdico (2.5m) y William Herschel de (4.2m) han sido todo un éxito, consiguiéndose imágenes de calidad tan sólo comparable a las obtenidas con el telescopio espacial Hubble pero con un coste muchísimo menor. La Figura 4 muestra, en bandas I (797 nm) y R (638 nm), el sistema binario COU 292 separado  $0,067''$ , una resolución nunca alcanzada por el telescopio William Herschel.

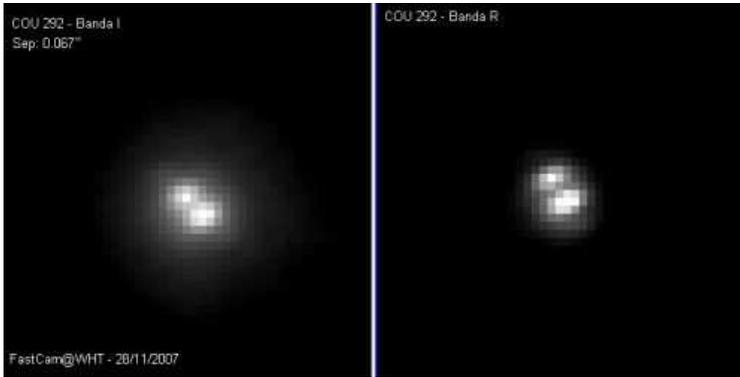


Figura 4: Sistema binario COU 292 separado  $0,067''$  resuelto por FastCam en el telescopio William Herschel (4.2m)

#### 4. El Software de FastCam

El software de FastCam ha sido desarrollado íntegramente en la UPCT. Este software adquiere imágenes de la cámara y las procesa en tiempo real. El procesamiento consiste en la selección de las imágenes menos distorsionadas por la atmósfera, recentrado y combinación de las mismas. El criterio empleado para la selección de imágenes se basa en la comparación del flujo en los *speckles* más brillantes. El tiempo de exposición de cada imagen es de entre 10 y 30 milisegundos por lo que en un minuto de exposición se obtienen del orden de 100 imágenes, siendo lo habitual tomar más de 3000 por objeto observado y llegando en algunos casos hasta el millón de imágenes para los objetos más débiles.

#### 5. Programas Científicos con FastCam

Con FastCam se estamos llevando a cabo diversos trabajos de investigación que mencionamos brevemente.

**Agujeros negros en cúmulos globulares.** Este tipo de asociaciones estelares se caracterizan por presentar una agrupación de estrellas muy compacta con una distribución esférica. Los cúmulos globulares son de los objetos más antiguos de la Galaxia alrededor de cuyo núcleo están orbitando. Se ha postulado que en el centro de estos cúmulos debe existir un objeto muy masivo tal como un agujero negro. Hasta ahora no se ha podido probar nada en un sentido o en otro. Gracias a que con FastCam podemos realizar medidas muy precisas de la posición de las estrellas en los cúmulos por su gran resolución espacial, aproximadamente una precisión de 30 microsegundos de arco, estamos realizando la astrometría para las estrellas del núcleo de este tipo de cúmulos en diversas épocas con el

fin de determinar la dispersión de velocidades. Esto nos permitirá dilucidar la existencia o no de agujeros negros. Para llevar a cabo este trabajo se necesitan imágenes de estos objetos tomadas con FastCam a lo largo de varios años.

**Binarias de baja masa.** Otra de las líneas de trabajo con FastCam consiste en la búsqueda y caracterización de estrellas binarias de baja masa. Hasta la fecha hemos detectado con FastCam alrededor de 50 nuevas estrellas binarias de baja masa. Estos objetos eran conocidos, pero no así su condición de objetos binarios debido a que la estrella compañera se encuentra muy cerca y no es posible resolverlos con los telescopios y la instrumentación convencional. Aparte de su descubrimiento, también estamos realizando un seguimiento de las mismas para poder determinar sus parámetros orbitales lo que nos permitirá calcular su masa. Esto es interesante debido a que aun no se han determinado con precisión las masas de este tipo de estrellas tan tardío (tipo espectral M).

**Alto contraste.** A pesar de que FastCam nos permite incrementar un un orden de magnitud la resolución de los telescopios nos encontramos que, cuando la diferencia de luminosidad entre dos estrellas cercanas es grande, la luz residual de la estrella más brillante nos impide ver la estrella más débil. Podríamos decir que la estrella débil se queda *enterrada* en las fluctuaciones luminosas de la estrella brillante, que son del orden de la raíz cuadrada de la intensidad. Por esto estamos desarrollando técnicas de postprocesado de las imágenes de FastCam para poder extraer la señal de los objetos débiles cercanos a estrellas más luminosas. El interés en estas técnicas se debe a que en un futuro se podrían emplear para la detección por medios fotométricos de exoplanetas. Hasta la fecha, la gran mayoría de planetas extrasolares han sido detectados usando métodos espectroscópicos. Los pocos planetas detectados por imagen directa son planetas de gran masa (varias veces la masa de Jupiter) y muy alejados de su estrella principal. Uno de esto es UScoCTIO108b [17] en cuya detección participó nuestro grupo de investigación.

## 6. Necesidad de desarrollar un nuevo instrumento

FastCam es un instrumento que obtiene las imágenes mediante una cámara comercial EMCCD fabricada por la empresa inglesa *Andor Technology*. A pesar de los buenos resultados demostrados por FastCam, es un sistema que no está libre de inconvenientes y, en consecuencia, es susceptible de mejoras. Al estar basado en una cámara comercial, uno de los problemas más notables que presentan es que es un sistema semi-cerrado. En consecuencia, el científico tiene un control limitado sobre el mismo, por ejemplo, hace impensable plantearse desarrollar en el futuro mosaicos de sensores EMCCDs para telescopios de gran apertura como el GTC (Gran Telescopio de Canarias).

Por ello, actualmente la UPCT está desarrollando la electrónica de control para sensores EMCCD, un desarrollo que se plantea versátil y eficiente y que permitirá obtener un instrumento completamente adaptado a las necesidades impuestas en su aplicación en el ámbito de la astronomía observacional de última generación.

## Referencias

- [1] Baldwin J. E., Tubbs R. N., Cox G. C., Mackay C. D., Wilson R. W., and Adersen M. I. (2001), Diffraction-limited 800 nm imaging with the 2.56 m Nordic Optical Telescope, *Astronomy & Astrophysics*, 368, L1-L4.
- [2] Fried D. L. (1966a), Limiting Resolution Looking Down Through the Atmosphere, *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 56, pp. 1380-1384.
- [3] Fried D. L. (1966b), Optical Resolution Through a Randomly Inhomogeneous Medium for Very Long and Very Short Exposures, *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 56, pp. 1372-1379
- [4] Fried D. L. (1978), Probability of getting a lucky short-exposure image through turbulence, *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 68, pp. 1651-1658.
- [5] Harris E. J., Royle G. J., Spencer R. D., Spencer S., and Suske W. (2000), Evaluation of a Novel CCD Camera for Dose Reduction in Digital Radiography, *Proceeding of the IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference*, Lyons, Sept.
- [6] Hormuth F. (2007a), *Astralux: High Angular Resolution astronomy with an Electron Multiplying CCD*, Diploma thesis in Physics, University of Heidelberg.
- [7] Hormuth F., Brander W., Hippler S. Janson M., Henning T. (2007b), Direct imaging of the young spectroscopic binary HD 160934, *Astronomy & Astrophysics*, vol 463, pp.707-711
- [8] Hynecek J. and Nishiwaki T. (2002), Recent progress toward single photon detection using charge multiplying CCD image sensors, Pages 7-12 of: *Proc. 16th World Multiconference on Systems and Cybernetics, SCI2002/ISAS2002*, no. 2.
- [9] Jerran P., Pool P. J., Bell R., Burt D. J., Bowring S., Spencer S., Hazelwood M., Moody I., Catlett N., and Heyes P. S. (2001), The LLCCD: low-light without the need for an intensifier, Pages 178-186 of: *SPIE Proceeding*, vol. 4306, *Sensor and Camera Systems II*, M. Blouke et al. Eds.
- [10] Law N. M., Mackay C. D., and Baldwin J. E. (2006), Luck Imaging: High Resolution Imaging in the visible from the Ground, *Astronomy & Astrophysics*, vol. 446, pp. 739-745.
- [11] Oscoz A, Rebolo R, Lopez R, et al. (2008), FastCam: a new lucky imaging instrument for medium-sized telescopes. *SPIE*, vol. 7014. pp. 1447.
- [12] Perez-Prieto J. A. (2007), *FastCam: Imágenes en el visible limitada por difracción*, Memoria de investigación, Universidad de la Laguna.
- [13] Piqueras Meseguer J. J. (2007), *FastCam: Sistema de adquisición de imágenes astronómicas y procesado en tiempo real sobre hardware reconfigurable*, Proyecto Fin de Carrera UPCT-IAC.
- [14] Roddier F. (1999), *Adaptative optics in astronomy*, ISBN:052155375X
- [15] Tubbs R. N., Baldwin J. E., Mackay C. D., and Cox G. C. (2002), Diffraction-limited CCD imaging with faint reference stars, *Astronomy & Astrophysics*, vol. 387, L21-L24.
- [16] Tubbs R. N. (2003), *Lucky Exposures: Diffraction Limited Astronomical Imaging Through the Atmosphere*, PhD thesis, University of Cambridge.
- [17] V. J. S. Béjar, M. R. Zapatero Osorio, et al. (2008) Discovery of a wide companion near the deuterium-burning mass limit in the Upper Scorpius association, *Astrophysical Journal*, vol. 673 pp. L185.