

IEE3853 Detectores para Astronomía (I-2012)

Tarea 04 – Diseño del sistema de detección para un Imager

Norman F. Sáez

nfsaez@uc.cl

2012/07/07

Introducción

El presente documento especifica sistema de detección para el telescopio ESO 1 metro, en donde el instrumento a utilizar es Imager. Los requerimientos especificados fueron los siguientes:

- Especificar el CCD científico a utilizar.
- Predecir readout noise, dark current y readout time.
- Estimar si el diseño óptico es adecuado o es preferible modificarlo, para el detector seleccionado. En caso de modificación, especifique los requerimientos para el nuevo diseño óptico.
- Estimar los tiempos de exposición para diversos filtros considerando la eficiencia cuántica del CCD seleccionado y la obtención de una SNR de al menos 10. Analice filtros del tipo SDSS4 (Sloan Digital Sky Survey) para su análisis.
- Especificar los requerimientos de enfriamiento criogénico, en particular temperatura de operación. Sugerir posibilidades de criogenia.

Las siguientes secciones muestran como se intenta satisfacer las necesidades que se especificaban en la tarea.

1 Especificar el CCD científico a utilizar

Parámetros del sistema:

- Field of View del instrumento = $14'$
- Diámetro Plano Focal = $30.8[mm]$
- Escala en el plano focal = $\frac{FoV}{Diametro\ Plano\ Focal} = 0.4545['/mm]$
- Field of View requerido: $5'$ en x
- Field of View requerido: $5'$ en y

- Dimensiones del detector: $\frac{5'}{0.4545['/mm]} = 11[mm]$ en x
- Dimensiones del detector: $\frac{5'}{0.4545['/mm]} = 11[mm]$ en y

Entonces el detector debe tener un tamaño de $11 \times 11[mm]$. Tamaño imagen de la PSF en el plano focal: $\frac{0.00833'}{0.4545['/mm]} = 0.01833[mm] = 18.33516[\mu m]$, utilizando el dato de Optimal Sampling, podemos obtener cuanto tiene que ser el tamaño del píxel: $\frac{18.33516}{3} = 6.111[\mu m]$.

Con los datos obtenidos, se necesita como mínimo:

- CCD $11 \times 11[mm]$ como tamaño máximo del CCD.
- Tamaño mínimo de cada píxel $6.11[\mu m]$.

Con estos datos no es posible tener un CCD desde la pagina del proveedor. Por lo que se intentara buscar uno similar y ajustar algunos parámetros del instrumento. Los datos obtenidos para determinar que no existe un CCD que reúna las características adecuadas, se muestran en figura 1

Parametro	Valor	Unidad
FoV	14.000	[°]
Diámetro Plano Focal	30.800	[mm]
Escala Plano Focal	0.455	['/mm]
FoV Requerido	5.000	[°]
Min Dim Detector X	11.000	[mm]
Min Dim Detector Y	11.000	[mm]
PSF Requerido	0.500	["]
PSF Requerido	0.008	[']
Tamaño Imagen PSF	0.018	[mm]
Tamaño Imagen PSF	18.333	[um]
Optimal Sampling	3.000	[pixel/PSF]
Dim Max Per Pixel	6.111	[um]
Readout Noise	5.000	[e-]
Readout Time	10.000	[sec]
Max Exp Time	1.000	[hr]
Min Wavelength Coverage	320.000	[nm]
Max Wavelength Coverage	900.000	[nm]

Características Sistema de Deteccion

Características del Instrumento

Características Calculadas para CCD

(a) Tabla de datos siguiendo especificaciones
(b) Simbología

Figure 1: Tabla de datos y simbología de acuerdo a las especificaciones

2 Estimar si el diseño óptico es adecuado o es preferible modificarlo, para el detector seleccionado. En caso de modificación, especifique los requerimientos para el nuevo diseño óptico.

Dado que no existían CCD que se ajustara con las especificaciones, se plantea la siguiente solución:

- Disminuir escala en el plano focal del instrumento

Para ello, se necesita:

- Disminuir el Field of View.

o bien:

- Aumentar el diametro.

Luego, se seleccionaron cámaras que tuvieran el diámetro focal cercano a 30.8. Las mejores cámaras escogidas fueron:

- CCD40-42, Image Area: 27.64x27.64 [mm] (o 764.411904 [mm²])
- CCD55-30, Image Area: 25.92x27.94 [mm] (o 724.3344 [mm²])
- CCD230-42, Image Area: 30.96x30.72 [mm] (o 951.0912 [mm²])

Se estudia la opcion de elegir CCD40-42 debido Field of View cercano a 30.8. Para utilizarla se tiene que ajustar el Field of View. Ver figura 2

Parametro	Valor	Unidad
FoV	5.740	[°]
Diametro Plano Focal	31.000	[mm]
Escala Plano Focal	0.185	[°/mm]
FoV Requerido	5.000	[°]
Min Dim Detector X	27.003	[mm]
Min Dim Detector Y	27.003	[mm]
PSF Requerido	0.500	[°]
PSF Requerido	0.008	[°]
Tamaño Imagen PSF	0.045	[mm]
Tamaño Imagen PSF	45.006	[um]
Optimal Sampling	3.000	[pixel/PSF]
Dim Max Per Pixel	15.002	[um]
Readout Noise	5.000	[e-]
Readout Time	10.000	[sec]
Max Exp Time	1.000	[hr]
Min Wavelength Coverage	320.000	[nm]
Max Wavelength Coverage	900.000	[nm]

Características Sistema de Deteccion

Características del Instrumento

Características Calculadas para CCD

(a) Tabla de datos ajustando especificaciones

(b) Simbología

Figure 2: Tabla de datos ajustada y simbología

Tambien se estudia la posibilidad de elegir CCD55-30. En este caso tambien es necesario modificar el Field of View de acuerdo a las especificaciones del detector. Ver figura 3

Se estudia la opcion de elegir CCD230-42 debido a que su image view es cercano a 30.8 y dentro de las CCD seleccionadas, es la que tiene mayor image view. Se ajusta Field of View para que cumpla con las especificaciones de la cámara y tambien el diametro en el plano focal. De acuerdo a las especificaciones de la cámara, se recalcula el Field of View para que cumpla los valores tanto de tamaño de los píxeles así como el tamaño de la cámara, como se puede apreciar en la figura y se aumenta en 0.2[mm] el diametro en el plano focal. Ver figura 4

Parametro	Valor	Unidad
FoV	5.740	[°]
Diámetro Plano Focal	31.000	[mm]
Escala Plano Focal	0.185	[°/mm]
FoV Requerido	5.000	[°]
Min Dim Detector X	27.003	[mm]
Min Dim Detector Y	27.003	[mm]
PSF Requerido	0.500	["]
PSF Requerido	0.008	[']
Tamaño Imagen PSF	0.045	[mm]
Tamaño Imagen PSF	45.006	[um]
Optimal Sampling	3.000	[pixel/PSF]
Dim Max Per Pixel	15.002	[um]
Readout Noise	5.000	[e-]
Readout Time	10.000	[sec]
Max Exp Time	1.000	[hr]
Min Wavelength Coverage	320.000	[nm]
Max Wavelength Coverage	900.000	[nm]

Características Sistema de Deteccion
Características del Instrumento
Características Calculadas para CCD

(a) Tabla de datos ajustando especificaciones

(b) Simbología

Figure 3: Tabla de datos ajustada y simbología

Parametro	Valor	Unidad
FoV	5.740	[°]
Diámetro Plano Focal	31.000	[mm]
Escala Plano Focal	0.185	[°/mm]
FoV Requerido	5.000	[°]
Min Dim Detector X	27.003	[mm]
Min Dim Detector Y	27.003	[mm]
PSF Requerido	0.500	["]
PSF Requerido	0.008	[']
Tamaño Imagen PSF	0.045	[mm]
Tamaño Imagen PSF	45.006	[um]
Optimal Sampling	3.000	[pixel/PSF]
Dim Max Per Pixel	15.002	[um]
Readout Noise	5.000	[e-]
Readout Time	10.000	[sec]
Max Exp Time	1.000	[hr]
Min Wavelength Coverage	320.000	[nm]
Max Wavelength Coverage	900.000	[nm]

Características Sistema de Deteccion
Características del Instrumento
Características Calculadas para CCD

(a) Tabla de datos ajustando especificaciones

(b) Simbología

Figure 4: Tabla de datos ajustada y simbología

3 Predecir readout noise, dark current y readout time

Dada las características presentadas en la pregunta 2 (ver figura 4) y el datasheet se revisa a continuación readout noise, dark current y readout frequency:

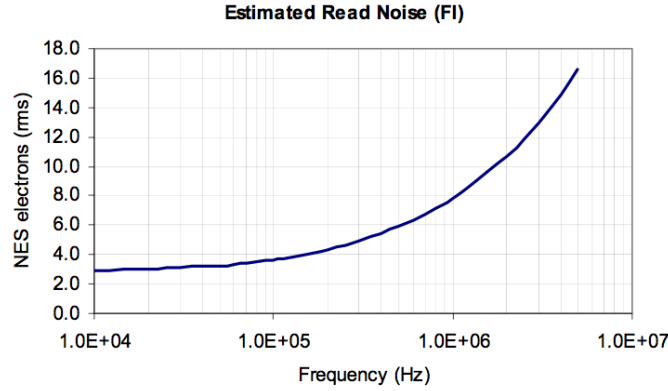
3.1 Readout Noise

A 253[K] dependiendo del amplificador, obtenemos:

Low Noise Amplifier, A2 : Valor típico: 3 $rms [e^-/pixel]$, valor máximo : 5 $rms [e^-/pixel]$

Large Signal Amplifier, A1 : Valor típico: 8 $rms [e^-/pixel]$

Podemos trabajar con este detector utilizando Low Noise Amplifier, ya que el valor máximo es 5 $rms [e^-/pixel]$. El valor para A1 (Large Signal Amplifier) se descarta ya que el valor típico supera lo que se especifica en este trabajo. Ver además figura 5 para revisar la relación entre readout noise y frecuencia de lectura.



(a) Readout Noise v/s Frecuencia

Figure 5: Readout Noise v/s Frecuencia

3.2 Dark Current

Dark Current para este detector, lo podemos ver gráficamente en figura 6

3.3 Readout Frequency

Podemos estimar readout frequency de la siguiente manera:

pixels : Número de píxeles total de la cámara

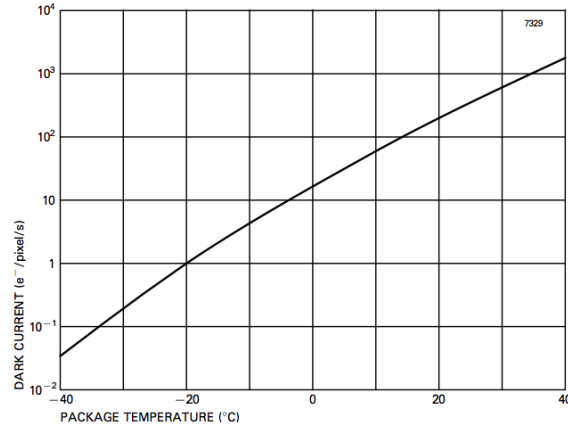
tiempo : Máximo tiempo de lectura requerido

amplificadores : Número de amplificadores de salida

Dado los parámetros anteriores el readout frequency se puede calcular:

$$\begin{aligned}
 \text{readout frequency} &= \frac{\text{pixels}}{\text{tiempo} * \text{amplificadores}} \\
 \text{readout frequency} &= \frac{1252 * 1152}{10 * 2} [Hz] \\
 \text{readout frequency} &= 72115.2 [Hz] = 72.1152 [kHz]
 \end{aligned}$$

TYPICAL VARIATION OF DARK CURRENT WITH TEMPERATURE



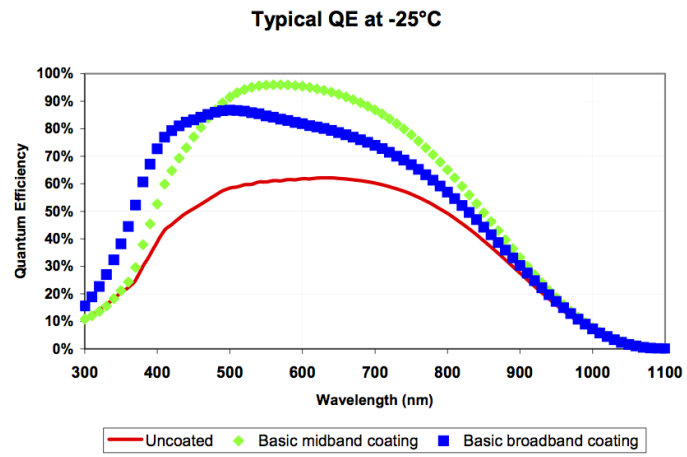
(a) Dark Current v/s Temperatura

Figure 6: Variaciones de Dark Current con respecto a la temperatura de Operación

- 4 Estimar los tiempos de exposición para diversos filtros considerando la eficiencia cuántica del CCD seleccionado y la obtención de una SNR de al menos 10. Analice filtros del tipo SDSS4 (Sloan Digital Sky Survey) para su análisis.

Para poder analizar esta pregunta es necesario tener en consideracion la figura 7

- 5 Especificar los requerimientos de enfriamiento criogénico, en particular temperatura de operación. Sugerir posibilidades de criogenia.



(a) QE v/s Wavelength

Figure 7: Quantum Efficiency (%) v/s Wavelength ($[nm]$)