



# I+D+i **GIZC** GESTIÓ INTEGRADA DE LA ZONA COSTANERA

Investigació per a la Sostenibilitat de la Zona Costanera de les Illes Balears



Desenvolupar un sistema de baix cost de monitoratge de platges. sirena

## **Informe Final**

# **SIRENA: Sistema Remoto de monitorización de playas**

**Alejandro Orfila  
Miguel Angel Nieto, Gustavo Zarruk**



El proyecto SIRENA consiste en el desarrollo de un sistema piloto altamente configurable y de bajo coste para la monitorización automática de la zona costera. El sistema remoto se encuentra instalado próximo a la playa y dispone de un conjunto de cámaras que capturan imágenes periódicamente. Estas imágenes son procesadas en primera instancia, y los resultados son transmitidos al nodo central, donde se analizan con diferentes técnicas y algoritmos con el propósito de extraer información cuantitativa de los procesos de interés científico.

## **1. Resultados obtenidos**

- Captura simultánea de secuencias de imágenes procedentes de varias cámaras digitales de vídeo.
- Procesamiento de las imágenes capturadas y generación de productos de carácter estadístico.
- Almacenamiento y envío de estos productos a un servidor.
- Calibración de las ópticas de las cámaras. La calibración de las imágenes se ha realizado de forma intrínseca (obteniendo los parámetros de la óptica –distancia focal. Aberraciones, curvatura de la lente, etc.)- con lo que se obtiene una imagen con óptica “ideal”, y de forma extrínseca para poder medir distancias sobre las imágenes.

El conjunto de programas conforma el software de Preproceso de SIRENA en lenguaje C++. Su estructura es modular con arquitectura abierta con una extensión aproximada de unas 3000 líneas de código.

## **2. Descripción del equipo**

**3 Cámaras.Firewire.** The imaging Source Color camera with trigger and I/O, 1/3” CCD, progressive scan, resolución 1024\*768, protocolo: DECAM 1.31, montura C/CS (modelo DFK31BF03). Precio unitario 780€ 15 fps. (<http://www.theimagingsource.com>)

**3 ópticas.** f=6.0mm, F=1.4(crucial según el tamaño de la playa). Rosca C, máximo 1/2”. (GM26014MCN). (<http://www.infaimon.com>). Precio unitario 150€

**3 filtros polarizadores.** Precio unitario. 50€

**3 carcacas y soportes compatibles.** SIRIUS – 250 / E / W Precio unitario 200€(<http://www.videotec.es>)

**2 Ordenadores Dell. DUAL CORE.** 1 en campo con trageta Firewire 3 puertos, 1 en laboratorio como servidor. S.O: LINUX. Software de

preproceso en C++. SOFTWARE de postproceso en MATLAB (en desarrollo) (Precio unitario:1800€).

1 SAI/UPS. .150€

### **3. Cronograma actualizado**

#### **Cronograma bimensual por tareas**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>T1 Construcción sistema</b>	X	X	X									
<b>Software preproceso</b>	X	X	X	X								
<b>Calibración</b>				X								
<b>Software posproceso</b>				X	X					X	X	X
<b>Instalación en zona piloto</b>				X								
<b>Memoria de investigación</b>						X	X	X	X	X	X	X
<b>Presentación Artículos</b>							X	X				

### **4. Productos**

- **Sistema SIRENA desarrollado**
- **Software de preproceso y transmisión de datos**
- **Software de postproceso**
- **Gestión de datos vía web**



## 2. Calibración

Una vez resuelto el sistema de adquisición de imágenes, para el desarrollo de un sistema de medida es necesario el desarrollo de un método para la extracción de información física precisa para poder cuantificar los procesos morfodinámicos que se producen en el litoral. La naturaleza remota de la tecnología que se presenta en esta memoria, es muy versátil en el sentido que permite el estudio de procesos que ocurren a escalas temporales y espaciales muy diferentes. Sin embargo esta

### Parámetros intrínsecos:

El modelo de cámara es muy similar al usado por Heikkilä y Silven en la Universidad de Oulu en Finlandia. Para obtener más información, hay que visitar su página referente a calibración y su página de publicaciones. Se recomienda especialmente su artículo CVPR'97: Un procedimiento en cuatro pasos para calibración de cámaras con corrección implícita de la imagen.

Los parámetros internos considerados son:

Longitud focal: La longitud focal en píxeles se almacena en un vector de dos componentes llamado  $fc$ .

Punto principal: Las coordenadas del punto principal se almacenan en un vector de dos componentes llamado  $cc$ .

Coefficiente oblicuo: El coeficiente oblicuo, que define el ángulo entre los ejes  $x$  e  $y$  del píxel, se almacena en un escalar llamado  $\alpha_c$ .

Distorsiones: Los coeficientes de distorsión de la imagen (distorsiones radiales y tangenciales) se almacenan en un vector  $5 \times 1$  llamado  $kc$ .

Definición de los parámetros intrínsecos:

Sea  $P$  un punto en el espacio de coordenadas del vector  $XX c = [Xc; Yc; Zc]$  en el sistema de referencia de la cámara. Proyectemos ahora dicho punto en el plano imagen según los parámetros intrínsecos ( $fc$ ,  $cc$ ,  $\alpha_c$ ,  $kc$ ). Sea  $x_n$  la proyección

normalizada de la imagen (del modelo pinhole):

$$\mathbf{x}_n = \begin{bmatrix} X_c/Z_c \\ Y_c/Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

Sea  $r^2 = x^2 + y^2$ . Después de incluir la distorsión de la lente, se define la nueva coordenada normalizada  $x_d$  del punto como sigue:

$$\mathbf{x}_d = \begin{bmatrix} x_d(1) \\ x_d(2) \end{bmatrix} = \left( 1 + kc(1)r^2 + kc(2)r^4 + kc(5)r^6 \right) \mathbf{x}_n + d\mathbf{x}$$

Donde está el vector  $d\mathbf{x}$  representando la distorsión tangencial:

$$d\mathbf{x} = \begin{bmatrix} 2 kc(3) x y + kc(4) (r^2 + 2x^2) \\ kc(3) (r^2 + 2y^2) + 2 kc(4) x y \end{bmatrix}$$

Por lo tanto, el vector  $kc$  contiene coeficientes radiales y tangenciales de la distorsión (observar que el coeficiente del término radial de la distorsión de orden 6 es la quinta entrada del vector  $kc$ ). Vale la pena hacer notar que este modelo de distorsión representa la distorsión mediante un polinomio radial más "prisma fino". La distorsión tangencial se debe a que la lente está descentrada, debido a imperfecciones en la lente o a defectos de montaje de la misma. Una vez que se aplica la distorsión, las coordenadas finales del píxel,  $\mathbf{x}_{pixel} = [x_p; y_p]$  resultado de la proyección de  $P$  en el plano imagen es:

$$\begin{cases} x_p = fc(1) (x_d(1) + \alpha_c * x_d(2)) + cc(1) \\ y_p = fc(2) x_d(2) + cc(2) \end{cases}$$

Por lo tanto, el vector de coordenadas del píxel  $\mathbf{x}_{pixel}$  y el vector de coordenadas normalizado (y distorsionado)  $\mathbf{x}_d$  se relacionan el uno con el otro con la ecuación lineal:

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{bmatrix} = KK \begin{bmatrix} x_d(1) \\ x_d(2) \\ 1 \end{bmatrix}$$

Donde  $KK$  se denomina matriz de cámara, y se define como sigue:

$$KK = \begin{bmatrix} fc(1) & \alpha_c * fc(1) & cc(1) \\ 0 & fc(2) & cc(2) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

En Matlab, esta matriz se almacena en la variable KK después de la calibración. Obsérvese que  $fc(1)$  y  $fc(2)$  son la distancia focal (un valor único en milímetros) expresada en unidades de píxeles horizontales y verticales. Ambos componentes del vector  $fc$  son generalmente muy similares. El cociente  $fc(2)/fc(1)$ , a menudo llamado aspect ratio, es diferente de la unidad si el píxel del CCD no es cuadrado. Por lo tanto, el modelo de cámara maneja de forma natural los píxeles no cuadrados. Además, el coeficiente  $\alpha_c$  codifica el ángulo entre los ejes del sensor  $x$  y  $y$ . Por lo tanto, los píxeles pueden ser además no rectangulares. Algunos autores se refieren a este tipo de modelo como "modelo afín de la distorsión".

Además de las estimaciones de los parámetros  $fc$ ,  $cc$ ,  $kc$  y  $\alpha_c$ , todos ellos intrínsecos, el toolbox también calcula las estimaciones de las incertidumbres en esos parámetros. Las variables de Matlab que contienen esas incertidumbres son respectivamente  $fc\_error$ ,  $cc\_error$ ,  $kc\_error$  y  $\alpha\_c\_error$ . Esos vectores son aproximadamente el triple de las desviaciones estándar de los errores de estimación. Aquí está un ejemplo de la salida del toolbox después de la optimización:

```
Calibration results after optimization (with uncertainties):
Focal Length:      fc = [ 657.30254  657.74391 ] ± [ 0.28487  0.28937 ]
Principal point:   cc = [ 302.71656  242.33386 ] ± [ 0.59115  0.55710 ]
Skew:              alpha_c = [ 0.00042 ] ± [ 0.00019 ] => angle of pixel axes = 89.97595 ± 0.01092 degrees
Distortion:        kc = [ -0.25349  0.11868  -0.00028  0.00005  0.00000 ] ± [ 0.00231  0.00942  0.00012  0.00012  0.00000 ]
Pixel error:       err = [ 0.11743  0.11585 ]

Note: The numerical errors are approximately three times the standard deviations (for reference).
```

En este  $fc$  del caso =  $[657.30254; 657.74391]$  y  $fc\_error = [0.28487; 0.28937]$ ,  $cc = [302.71656; 242.33386]$ ,  $cc\_error = [0.59115; 0.55710]$ ...

## El mapeo inverso

El problema inverso de calcular el vector normalizado  $x_n$  de proyección de la imagen a partir de las coordenadas del píxel  $x_{\text{pixel}}$  es muy útil en la mayoría de los usos de la visión por computador. Sin embargo, debido al alto grado de distorsión del modelo, no existe ninguna expresión algebraica general para este proceso inverso (también llamado normalización). No obstante, en el toolbox se proporciona una implementación numérica de mapeo inverso en la forma de una función: `normalize.m`. Aquí está la manera en que la función debe ser llamada:  $x_n = \text{normalize}(x_{\text{pixel}}, fc, cc, kc, \alpha_c)$ . En esa sintaxis, el  $x_{\text{pixel}}$  y  $x_n$  pueden consistir en coordenadas de más de un punto. Para un ejemplo de la llamada, ver la función `compute_extrinsic_init.m` en Matlab.

## Modelos reducidos de cámara

Las cámaras actualmente fabricadas no justifican siempre este modelo óptico tan general. Por ejemplo, ahora se está acostumbrado a asumir los píxeles rectangulares, y asumir así  $\alpha_c=0$ . Ese es el ajuste por defecto del toolbox (el coeficiente oblicuo no se estima). Además, el modelo genérico de distorsión no se considera a menudo totalmente (se suele obviar la parte radial de sexto orden y la componente tangencial). Para campos visuales habituales (no para cámaras de gran angular), no suele ser a menudo necesario (y no se recomienda) calcular el componente radial del modelo de distorsión más allá del cuarto orden (es decir manteniendo  $kc(5)=0$ ). Éste es también un ajuste por defecto del toolbox. Además, el componente tangencial de la distorsión puede ser desechado a menudo (justificado por el hecho de que la mayoría de las lentes fabricadas actualmente no tienen imperfección en el centro). La distorsión radial simétrica de cuarto orden sin componente tangencial (los tres últimos componentes de  $kc$  se fijan a cero) es el modelo de distorsión usado por Zhang. Otro modelo muy común de distorsión para los buenos sistemas ópticos o lentes de campo visual estrecho es el modelo radial simétrico de distorsión de segundo orden. En este modelo, solamente el primer componente del vector  $kc$  está estimado, mientras que los otros cuatro se fijan a cero. Este modelo también se utiliza comúnmente cuando se utilizan pocas imágenes para la calibración (demasiados pocos datos para estimar un modelo más complejo). Aparte de distorsiones y de la posición oblicua, se pueden imaginar otras reducciones del modelo. Por ejemplo, cuando

solamente algunas imágenes se utilizan para la calibración (por ejemplo una, dos o tres imágenes) el punto principal  $cc$  es a menudo muy difícil de estimar de manera fiable. Se conoce como una de las partes más difíciles de estimar del modelo de proyección perspectiva (incluso ignorando las distorsiones de la lente). Si éste es el caso, es a veces mejor (y recomendado) fijar el punto principal en el centro de la imagen ( $cc = [ (nx-1)/2; (ny-1)/2 ]$ ) y no estimarlo más. Finalmente, en algunos casos, puede ser necesario rechazar el cociente de aspecto  $fc(2)/fc(1)$  de la estimación. Aunque este paso final de la reducción del modelo es posible con el toolbox, no se recomienda generalmente pues el cociente de aspecto es a menudo “fácil” de estimar de manera fiable.

## Parámetros extrínsecos

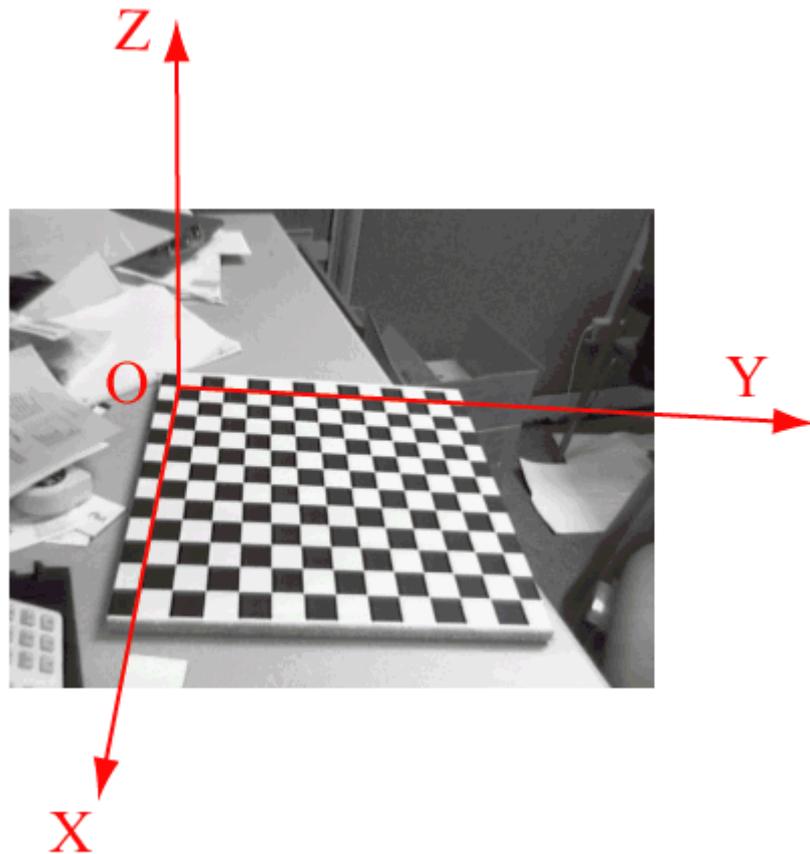
Los parámetros extrínsecos tratan principalmente sobre la posición relativa de la cámara y aquello que ésta puede ver en su campo visual. La relación puede verse de dos maneras: cómo está colocada la cámara respecto del patrón de calibración o cómo está colocado el patrón de calibración respecto de la cámara. Salvando esta pequeña diferencia de criterio, en cualquier caso los parámetros extrínsecos se pueden representar mediante:

Rotaciones: Un conjunto de  $n_{ima}$  matrices de rotación  $3 \times 3$ ,  $Rc_1, Rc_2, \dots, Rc_{20}$  (asumiendo  $n_{ima}=20$ ).

Traslaciones: Un conjunto de  $n_{ima}$  vectores  $3 \times 1$ ,  $Tc_1, Tc_2, \dots, Tc_{20}$  (asumiendo  $n_{ima}=20$ ).

Definición de los parámetros extrínsecos

Considerar la malla de calibración  $\#i$  (asociada a la imagen de calibración  $i$ -ésima), y concentrarse en el sistema de referencia de la cámara asociado a esa malla. Sin pérdida de generalidad, tomemos  $i = 1$ . La figura siguiente muestra el sistema de referencia  $(O, x, y, z)$  asociado a esa malla de calibración.



Sea  $P$  un punto en el espacio de coordenadas del vector  $XX = [X; Y; Z]$  en el sistema de referencia de la malla (sistema de referencia mostrado en la figura anterior).

Sea  $XX^c = [X_c; Y_c; Z_c]$  el vector de coordenadas de  $P$  en el sistema de referencia de la cámara. Entonces  $XX$  y  $XX^c$  se relacionan con la siguiente ecuación del movimiento rígido:

$$XX^c = R_{c_1} * XX + T_{c_1}$$

En particular, el vector de translación  $T_{c_1}$  es el vector de coordenadas del origen del patrón de la malla ( $O$ ) en el sistema de referencia de la cámara, y la tercera columna de la matriz  $R_{c_1}$  es el vector normal del plano que contiene la malla planar en el sistema de referencia de la cámara. La misma relación se cumple para los parámetros extrínsecos restantes ( $R_{c_2}$ ,  $T_{c_2}$ ), ( $R_{c_3}$ ,  $T_{c_3}$ )..., ( $R_{c_{20}}$ ,  $T_{c_{20}}$ ). Una vez que las coordenadas de un punto se expresan en el sistema de referencia de la cámara, se pueden proyectar en el plano imagen usando los parámetros intrínsecos de la cámara. Los vectores  $omc_1$ ,  $omc_1$ ...,  $omc_{20}$  son los vectores de rotación asociados a las matrices de

rotación  $Rc_1$ ,  $Rc_1 \dots$ ,  $Rc_{20}$ . Los dos se relacionan con la fórmula de Rodrigues. Por ejemplo,  $Rc_1 = \text{rodrigues}(omc_1)$ .

De forma similar a los parámetros intrínsecos, las incertidumbres asociadas a las estimaciones de los parámetros extrínsecos  $omc_i$ ,  $Tc_i$  ( $i=1\dots,n_{ima}$ ) también son calculadas por el toolbox. Esas incertidumbres se almacenan en los vectores  $omc\_error_1\dots$ ,  $omc\_error_{20}$ ,  $Tc\_error_1\dots$ ,  $Tc\_error_{20}$  (asumiendo  $n_{ima} = 20$ ) y representan aproximadamente el triple de las desviaciones estándar de los errores de estimación.

### 3. Transferencia de conocimiento

- 3.1. Presentación Red de Trabajo sobre Teledetección costera (Santander, Septiembre 2007). (presentación pwp)
- 3.2. Artículo científico en Environmental Modelling and Software (submitido)
- 3.3. Artículo científico en Scientia Marina (variabilidad de la playa de Cala Millor) (en prep.).

### 4. Recomendaciones de Futuro

El sistema desarrollado se ha mostrado como una herramienta de bajo coste y alta funcionalidad para el estudio de los procesos tanto morfodinámicos como hidrodinámicos en la zona costera. La modularidad del sistema hace que su uso a grandes escalas sea altamente recomendable. Los productos obtenidos a través de este sistema, conforman una base de datos excepcional para la correcta caracterización de las Playas de nuestro entorno. Por ello, sería altamente recomendable, la extensión del sistema piloto a otras Playas del litoral balear con diferentes regímenes de oleaje con el fin de constituir un Sistema Integrado de Monitorización Autónomo Global (SIMAG) de las Islas Baleares. Este sistema, sería un elemento importante de la Plataforma de Observación de las Islas Baleares. El coste orientativo de esta implementación depende obviamente del número de zonas muestreadas con un coste aproximado para una operatividad de 3 años en torno a los 15.000 €por zona y la contratación



de un técnico. El mantenimiento del sistema tras ese periodo inicial, rondaría los 3000 €zona.