Visión Artificial

Prácticas: entorno de desarrollo

- OpenCV
- Proyecto software

OpenCV

- Introducción
- Estructuras básicas
- Módulos

OpenCV: introducción

- Open Source Computer Vision Library.
- Incluye un amplio número de funciones relacionadas con la visión artificial.
- Continuo desarrollo.
- Disponible para varias plataformas.
- Uso muy extendido.
- Versión 4.9.0
- Web: http://opencv.org
- Documentación: http://docs.opencv.org/

OpenCV: introducción

- Estructura modular: diferentes librerías para diferentes grupos de funciones.
  - *core*: estructuras de datos básicas y funciones genéricas usadas por otros módulos
  - *imgproc*: procesamiento de imágenes.
  - *imgcodecs*: lectura y escritura de imágenes en fichero
  - *videoio*: entrada/salida de vídeo
  - *highgui*: funciones de gestión de GUIs y de entrada/salida.
  - *video*: análisis de vídeo.
  - *calib3d*: calibración de cámara y geometría multi-vista.
  - *features2d*: características de imagen.
  - *objdetect*: detección de objetos.
  - ...

OpenCV: estructuras básicas (la clase *Mat*)

- Definición de arrays multidimensionales.
- Clase básica para almacenar y manejar imágenes.
- Consta de una cabecera y un puntero a la zona de memoria que contiene la imagen.
- Creación de un objeto *Mat*:
  - Constructor *Mat(filas, columnas, tipo [, valor inicial])*
    - *tipo*: *CV_[bits][S/U/F]C[canales]* (ej: *CV_8UC3*)
  - Método *create(filas, columnas, tipo)*
  - Asignación de otro objeto *Mat*: sólo copia la cabecera, no los datos (varios objetos apuntando a la misma imagen).
  - Métodos *clone() y copyTo(destino)*: realiza una copia completa del objeto (cabecera y datos).

OpenCV: estructuras básicas (la clase *Mat*)

- Atributos principales:
  - *int rows, cols*: filas y columnas del array (2 dimensiones)
  - *int dims*: número de dimensiones del array.
  - *uchar * data*: puntero a la zona de memoria que contiene los datos del array.
  - *MStep step*: array que contiene la distancia en bytes de dos elementos consecutivos en una determinada dimensión.
- Acceso a un elemento de la matriz:
  - Método *at<T>(...)*: *v = M.at<uchar>(f, c); v = M.at<uchar>(p)*
  - Dirección del elemento (i_0, i_1, …, i_N) = M.data + M.step[0]*i_0 + M.step[1]*i_1 + … + M.step[N]*i_N
  - Píxel situado en (f, c) = M.data[M.step[0]*f + M.step[1]*c]

OpenCV: estructuras básicas (la clase *Mat*)

- Algunos métodos:
  - *row(...)*: crea una matriz con la fila especificada (*).
  - *col(...)*: crea una matriz con la columna especificada (*).
  - *rowRange(...)*: crea una matriz con el rango de filas indicado (*).
  - *colRange(...)*: crea una matriz con el rango de columnas indicado (*).
  - *convertTo(...)*: convierte el tipo de los elementos de la matriz al indicado por parámetro.
  - *setTo(...)*: inicializa todos los elementos al valor especificado.
  - *resize(...)*: modifica el número de filas de la matriz.
  - *release()*: libera, si es posible, la memoria ocupada por los datos de la matriz.

(*) sólo genera la cabecera

OpenCV: otras estructuras básicas

- *Point_*: plantilla para definir puntos 2D (Point2i, Point, Point2f). Las coordenada se representan a través de los atributos *x* e *y*.
- *Point3_*: plantilla para definir puntos 3D (Point3i, Point3f, Point3d). Coordenadas en *x*, *y* y *z*.
- Size_: plantilla para especificar el tamaño de una imagen o un rectángulo (Size2i, Size, Size2f). Tamaño en *width* y *height*.
- *Rect_*: plantilla para definir regiones de interés de una imagen.
- *Matx*: plantilla para definir matrices de pequeño rango con tamaño y tipo conocidos en tiempo de compilación (Matx33f).
- *Vec*: plantilla para definir vectores numéricos de pocos elementos (Vec2i, Vec3b).
- *Scalar_*: plantilla para definir vectores de 4 elementos: *Vec<T, 4>*
- *Range*: clase que permite especificar un rango continuo de valores. Los límites del rango en *start* y *end*.

OpenCV: *InputArray OutputArray*

- Clases *proxy* utilizadas como parámetros en muchas funciones de OpenCV para representar arrays genéricos.
- InputArray: parámetro de entrada (sólo lectura).
- OutputArray: parámetro de salida.
- No es necesario definir objetos de estos tipos de manera explícita.
- Se utilizan como clases intermediarias de *Mat*, *std::vector*<>, *Matx*<>, *Vec*<> o *Scalar*.
- Si el parámetro es opcional y no se desea especificar ninguno, debe indicarse *cv::noarray*.
- Otras clases similares: *InputOutputArray*, *InputArrayOfArrays*, *OutputArrayOfArrays*.

OpenCV: módulos - *core*

- Definición de clases (C++), estructuras (C) y operaciones básicas.
- Operaciones sobre matrices (imágenes) y vectores:
  - *void* ***absdiff****(InputArray src1, InputArray src2, OutputArray dst)*: valor absoluto de la diferencia entre *src1* y *scr2*.
  - *void* ***compare****(InputArray src1, InputArray src2, OutputArray dst, int cmpop)*: compara *src1* y *src2* según el operador indicado en *cmpop* (resultado 0 ó 255).
  - *double* ***invert****(InputArray src, OutputArray dst, int method=DECOMP_LU)*: calcula la inversa de *src*.
  - *bool* ***solve****(InputArray src1, InputArray src2, OutputArray dst, int flags=DECOMP_LU)*: resuelve el sistema de ecuaciones *src1*X = src2*.

OpenCV: módulos - *imgproc*

- Procesamiento de imágenes.
- **Operaciones de filtrado**: operaciones sobre el entorno local de un píxel para suavizado, realce, ...
  - Filtros lineales:
    - *void **filter2D**(InputArray src, OutputArray dst, int ddepth, InputArray kernel, Point anchor=Point(-1,-1), double delta=0, int borderType=BORDER_DEFAULT)*: convolución con el *kernel* especificado.
    - *void **blur**(InputArray src, OutputArray dst, Size ksize, Point anchor=Point(-1,-1), int borderType = BORDER_DEFAULT)*: aplica el filtro media utilizando un kernel del tamaño especificado por *ksize*.
    - *void **GaussianBlur**(InputArray src, OutputArray dst, Size ksize, double sigmaX, double sigmaY=0, int borderType=BORDER_DEFAULT)*: filtro gaussiano

OpenCV: módulos - *imgproc*

```
Size kSize(5,5);
blur(grayImage, destImage, kSize);
```

```
Size kSize(5,5);
GaussianBlur(grayImage, destImage, kSize, 0.8, 0.8);
```

OpenCV: módulos - *imgproc*

- Operaciones de filtrado:
  - Filtros no lineales:
    - *void* ***medianBlur****(InputArray src, OutputArray dst, int ksize)*: suavizado mediante el filtro mediana.
- **Transformaciones geométricas**: modifican la posición de los píxels dentro de la imagen.
  - *void* ***remap****(InputArray src, OutputArray dst, InputArray mapX, InputArray mapY, int interpolation, int borderMode=BORDER_CONSTANT, const Scalar& borderValue=Scalar())*: construye la imagen *dst* copiando a cada posición (x,y) el píxel de *src* situado en la posición indicada por *mapX*(x,y) y *mapY*(x,y).

OpenCV: módulos - *imgproc*

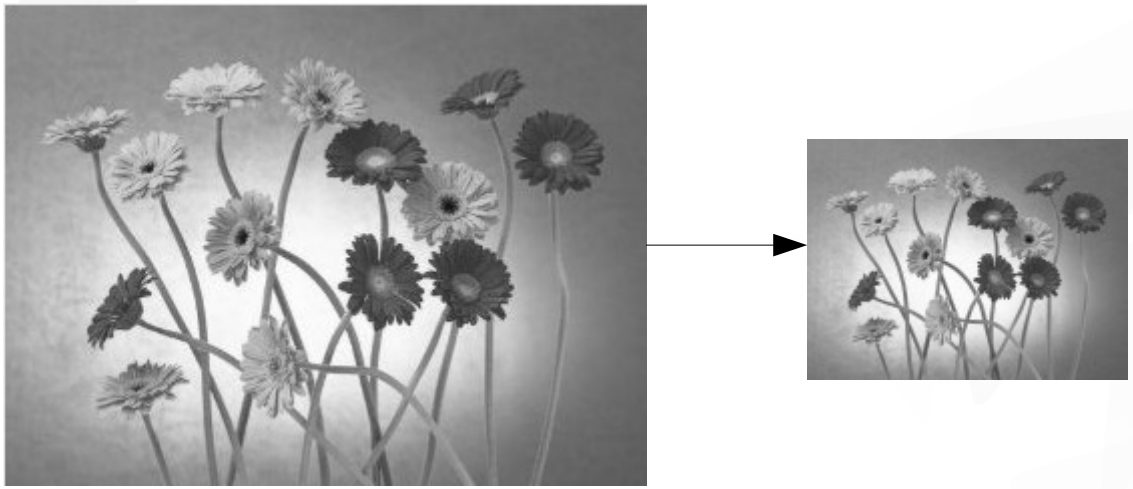
- Transformaciones geométricas:
  - *void* ***warpAffine****(InputArray src, OutputArray dst, InputArray M, Size dsize, int flags=INTER_LINEAR, int borderMode=BORDER_CONSTANT, const Scalar& borderValue=Scalar())*: aplica una transformación afín a *src*.

```
Size sDest(320, 240);
MT(0,0) = cos(0.3); MT(0,1) = sin(0.3); MT(0,2) = -20;
MT(1,0) = -sin(0.3); MT(1,1) = cos(0.3); MT(1,2) = 10;
warpAffine(grayImage, destImage, MT, sDest);
```

OpenCV: módulos - *imgproc*

- Transformaciones geométricas:
  - *void* ***resize****(InputArray src, OutputArray dst, Size dsize, double fx=0, double fy=0, int interpolation=INTER_LINEAR)*: redimensiona la imagen *src* al tamaño especificado en *dsize* o aplicando el factor de escala indicado en *fx* y *fy*. La imagen redimensionada se almacena en *dst*.

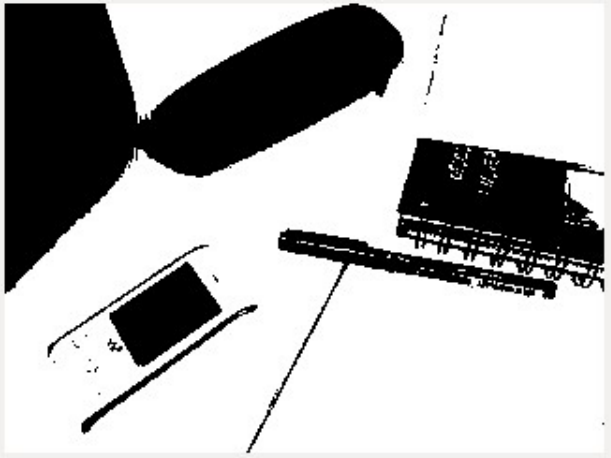
```
resize(grayImage, destImage, Size(160, 120));
```



OpenCV: módulos - *imgproc*

- **Otras transformaciones**:
  - *void **cvtColor**(InputArray src, OutputArray dst, int code, int dstCn=0)*: transforma el espacio de color de *src* según la conversión indicada en *code* (p.e., COLOR_RGB2GRAY).
  - *double **threshold**(InputArray src, OutputArray dst, double thresh, double maxVal, int thresholdType)*: transforma los píxels de *src* aplicando el umbral indicado.

```
threshold(grayImage, binaryImage, 120, 255, CV_THRESH_BINARY);
```



OpenCV: módulos - *imgproc*

- **Operaciones con histogramas**:
  - *void* ***equalizeHist****(InputArray src, OutputArray dst)*: ecualiza el histograma de *src*.

```
equalizeHist(grayImage, destImage);
```

OpenCV: módulos - *imgproc*

- **Análisis estructural**: detección de contornos, aproximaciones poligonales, propiedades de formas, ...
  - *void* ***findContours****(InputOutputArray image, OutputArrayOfArrays contours, OutputArray hierarchy, int mode, int method, Point offset=Point())*: detecta los contornos de una imagen binaria. Cada contorno es representado a través de un array de puntos.

```
    std::vector< std::vector<Point2i> > contours;
    findContours(binaryImage, contours, noArray(),
CV_RETR_EXTERNAL, CV_CHAIN_APPROX_NONE);
```

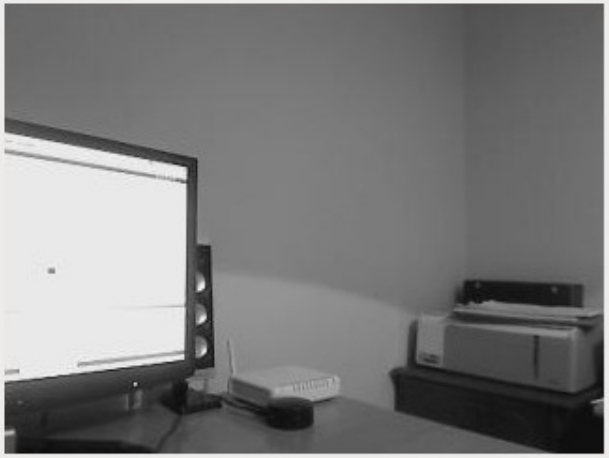
OpenCV: módulos - *imgproc*

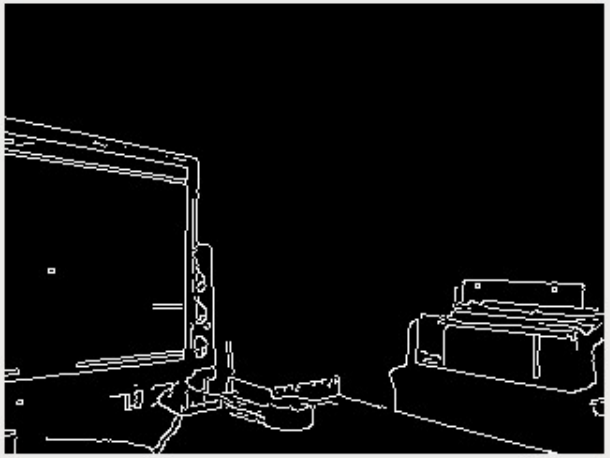
- Análisis estructural:
  - *void* ***fitLine****(InputArray points, OutputArray line, int distType, double param, double reps, double aeps)*: ajusta el conjunto de puntos indicado a una línea, minimizando la distancia de los puntos a la línea según la función indicada en *distType*.
  - *void* ***convexHull****(InputArray points, OutputArray hull, bool clockwise=false, bool returnPoints=true)*: calcula la envolvente convexa que contiene el conjunto de puntos indicado.
  - *void* ***approxPolyDP****(InputArray curve, OutputArray approxCurve, double epsilon, bool closed)*: aproxima el contorno indicado a un polígono.
  - *bool* ***isContourConvex****(InputArray contour)*: determina si el contorno indicado es o no convexo.

OpenCV: módulos - *imgproc*

- **Detección de características**: características de bajo nivel (bordes, esquinas, líneas, ...)
  - *void* ***Canny****(InputArray image, OutputArray edges, double threshold1, double threshold2, int apertureSize=3, bool L2gradient=false)*: detecta los bordes de la imagen *image*, siguiendo el algoritmo de *Canny*, y marca los puntos correspondientes en la imagen *edges*.

```
Canny(grayImage, destImage, 120., 50.);
```





OpenCV: módulos - *imgproc*

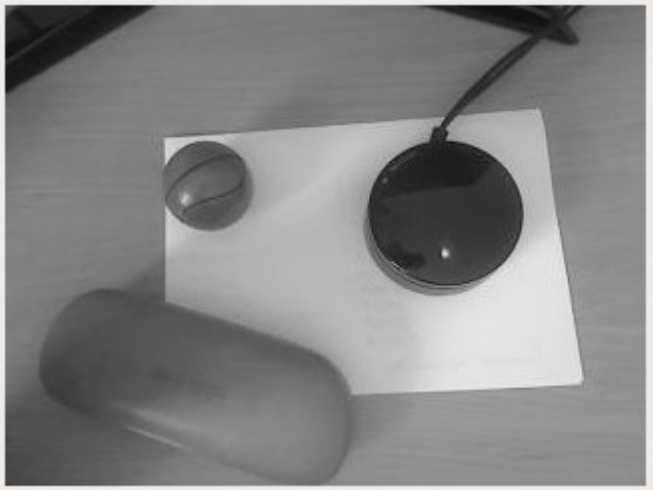
- Detección de características:
  - *void* ***goodFeaturesToTrack****(InputArray image, OutputArray corners, int maxCorners, double qualityLevel, double minDistance, InputArray mask=noArray(), int blockSize=3, bool useHarrisDetector=false, double k=0.04)*: detecta esquinas muy distintivas en la imagen indicada. El número máximo será el indicado en *maxCorners*.

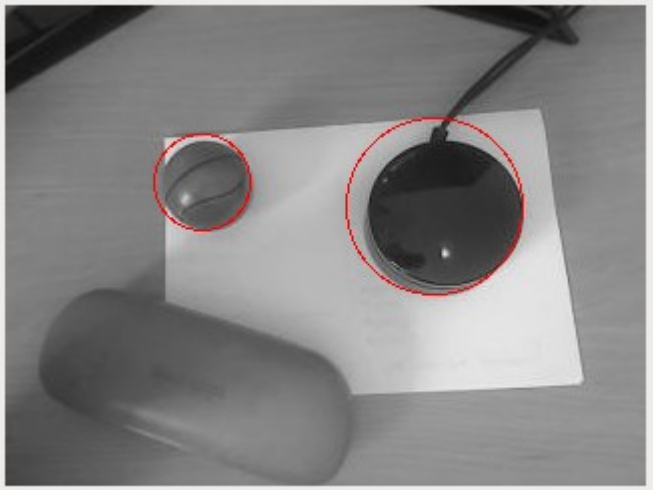
```
std::vector<Point2f> corners;
goodFeaturesToTrack(grayImage, corners, 50, 0.01, 10);
```

OpenCV: módulos - *imgproc*

- Detección de características:
  - *void* ***HoughCircles****(InputArray image, OutputArray circles, int method, double dp, double minDist, double param1=100, double param2=100, int minRadius=0, int maxRadius=0)*: detecta los círculos en *image* utilizando la transformada de Hough. Cada círculo se representa como un vector de 3 elementos (x, y, radio).

```
std::vector<Vec3f> circles;
HoughCircles(grayImage, circles, CV_HOUGH_GRADIENT, 2, 20, 200, 100);
```





OpenCV: módulos - *imgproc*

- **Funciones de dibujo**:
  - *void **line**(Mat& img, Point pt1, Point pt2, const Scalar& color, int thickness=1, int lineType=8, int shift=0)*: dibuja una línea sobre *img* delimitada por *pt1* y *pt2*.
  - *void **putText**(Mat& img, const string& text, Point org, int fontFace, double fontScale, Scalar color, int thickness=1, int lineType=8, bool bottomLeftOrigin=false)*: imprime una cadena de texto (*text*) sobre *img*.
- Utilidades y funciones del sistema:
  - *int **cvFloor**(double value)*: redondea *value* al entero menor más cercano.
  - *void **setNumThreads**(int nthreads)*: inicializa el número de hilos utilizados por OpenCV.

OpenCV: módulos - *imgcodecs*

- Operaciones de E/S sobre fichero:
  - *Mat* ***imread****(const string& filename, int flags=IMREAD_COLOR)*: lee una imagen de fichero.
  - *bool* ***imwrite****(const string& filename, InputArray image, const vector<int>& params=vector<int>())*: almacena la imagen indicada en fichero. El formato queda especificado por la extensión del fichero.

OpenCV: módulos - *videoio*

- Lectura/escritura de vídeo o de secuencia de imágenes.
- Captura de vídeo:
  - La clase ***VideoCapture***: clase de captura de vídeo desde cámara o desde fichero.
    - Constructores:
      - *VideoCapture(const string& filename)*
      - *VideoCapture(int device)*
    - Establecer y recuperar propiedades de la captura:
      - *bool set(int propertyId, double value)*
      - *double VideoCapture::get(int propId)*
    - Capturar:
      - *VideoCapture& operator>>(Mat& image)*
      - *bool read(Mat& image)*

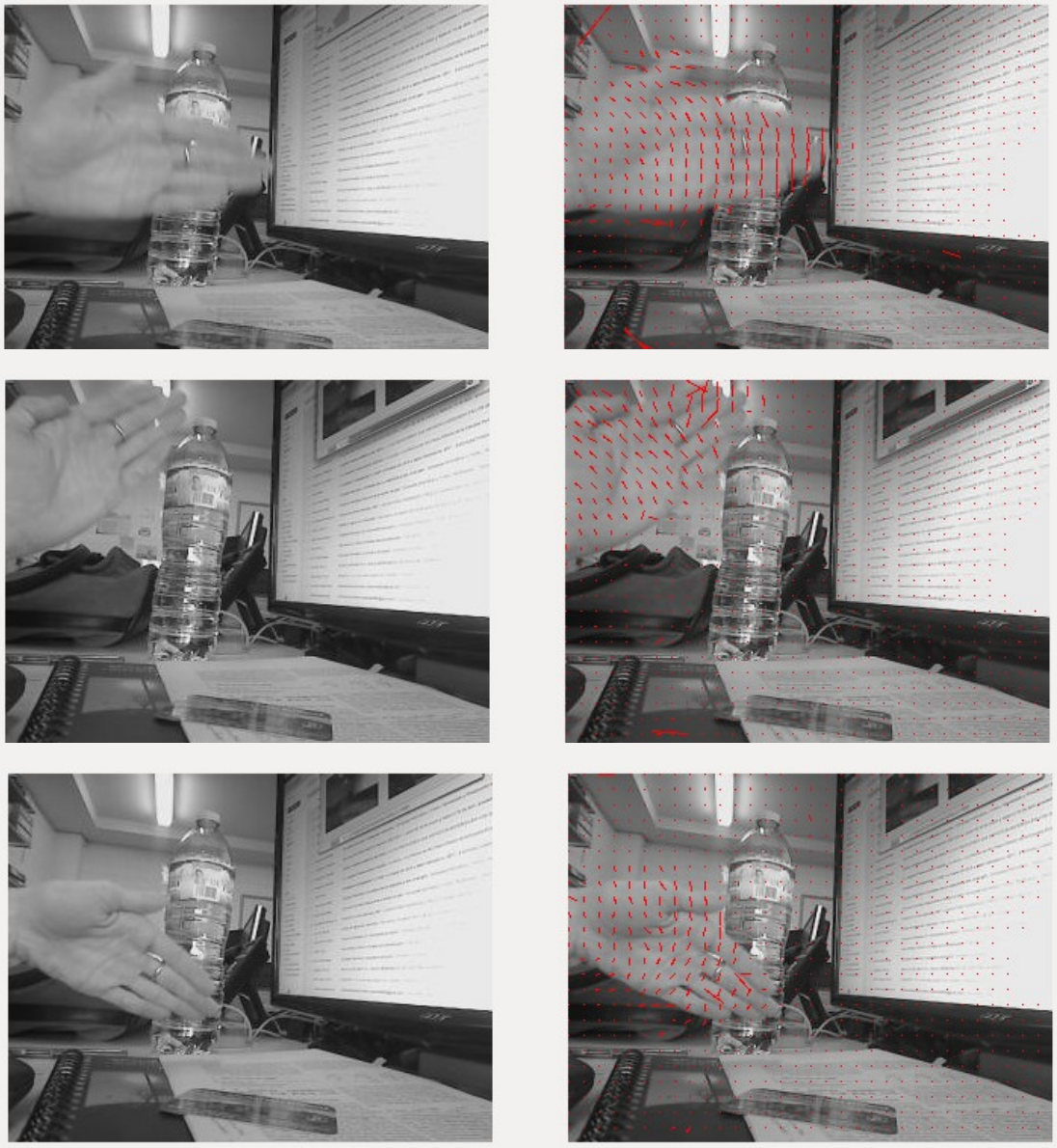
OpenCV: módulos - *video*

- Análisis de una secuencia de imágenes: estimación del movimiento y seguimiento de objetos.
  - *void* ***calcOpticalFlowPyrLK****(InputArray prevImg, InputArray nextImg, InputArray prevPts, InputOutputArray nextPts, OutputArray status, OutputArray err, …)*: calcula el flujo óptico del conjunto de puntos indicado en *prevPts* a partir de dos instantes de captura reflejados en *prevImg* y *nextImg*.

```
VideoCapture *cap;
std::vector<Point2f> prevPts, nextPts;
Mat status, err;
...
for(int r=0; r<240; r+=10)
    for(int c=0; c<320; c+=10)
        prevPts.push_back(Point2f(c,r));

nextPts = prevPts;
...
grayImage.copyTo(prevImage);
*cap >> grayImage;
calcOpticalFlowPyrLK(prevImage, grayImage, prevPts, nextPts, status, err);
```

OpenCV: módulos - *video*



OpenCV: módulos - *calib3d*

- Calibración de cámara y reconstrucción 3D.
- **Operaciones de calibración**:
  - *double* ***calibrateCamera****(InputArrayOfArrays objectPoints, InputArrayOfArrays imagePoints, Size imageSize, InputOutputArray cameraMatrix, InputOutputArray distCoeffs, OutputArrayOfArrays rvecs, OutputArrayOfArrays tvecs, int flags=0)*: determina los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara.
- **Estimación de transformaciones**:
  - *Mat* ***findFundamentalMat****(InputArray points1, InputArray points2, …)*: determina la matriz fundamental entre dos vistas.
  - *Mat* ***findHomography****(InputArray srcPoints, InputArray dstPoints, …)*: estima la homografía que relaciona dos vistas de un mismo plano.

OpenCV: módulos - *calib3d*

- **Estimación de 3D**:
  - Las clases **StereoBM** y **StereoSGBM**: realizan el cálculo de correspondencias entre las dos imágenes de un par estéreo. Proporionan una imagen de disparidad (diferencia de posición entre cada par de puntos homólogos).
  - *void* ***reprojectImageTo3D****(InputArray disparity, OutputArray _3dImage, InputArray Q, bool handleMissingValues=false, int depth=-1)*: cálculo del 3D a partir de una imagen de disparidad.

Proyecto software

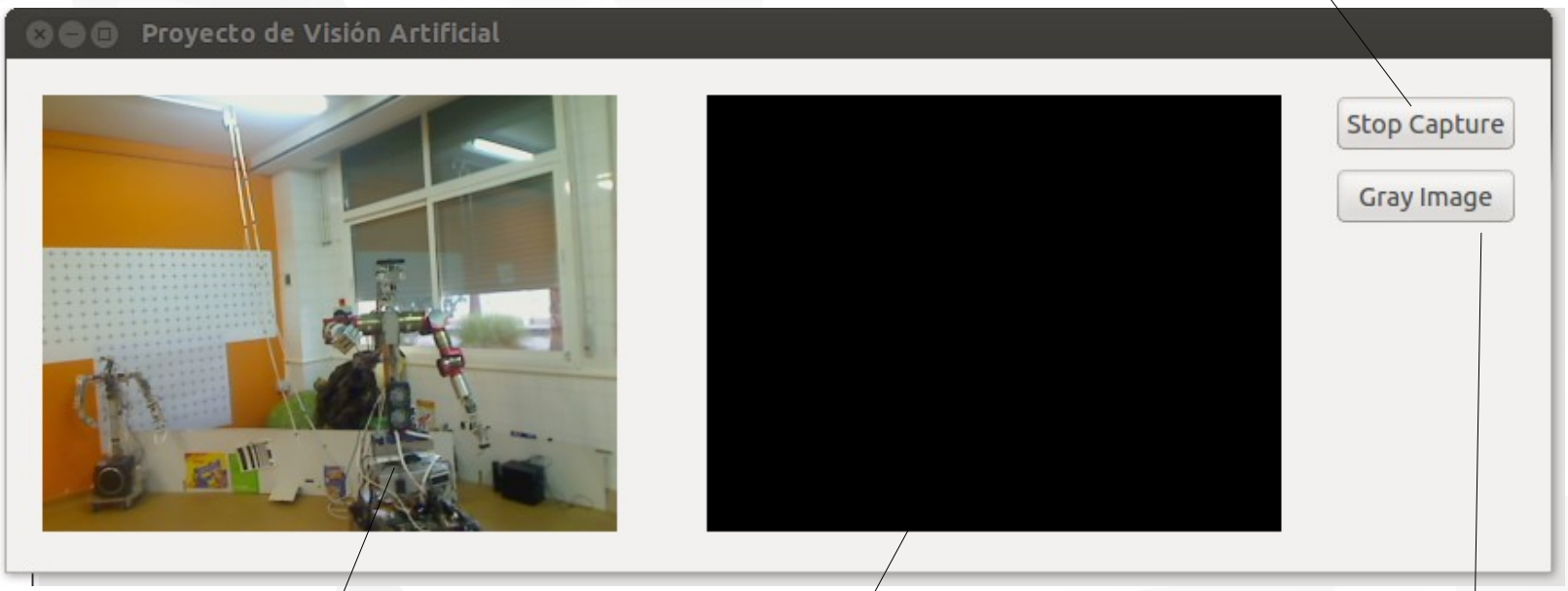
- Descripción
- Interfaz de usuario
- Estructura del proyecto

Proyecto software: descripción

- Proyecto Qt: proyVA.pro
- Entorno de desarrollo: Qt Creator
- Paquetes y librerías necesarias:
  - *qtcreator*: IDE de Qt
  - *qt6-base-dev, qt6-base-dev-tools*: librerías y herramientas de Qt6
  - *libopengl-dev*, *libqt6opengl6-dev*, *libqt6openglwidgets6*: paquetes necesarios para el uso de OpenGL en Qt
  - OpenCV:
    - Instalación desde paquetes: *libopencv-dev*
      - Versión 4.2 en Ubuntu 20.04
      - Versión 4.5 en Ubuntu 22.04
    - Instalación desde fuentes: *http://opencv.org*

Proyecto software: interfaz de usuario

Parar o continuar la captura



Ventana de imagen con la captura actual

Ventana de imagen para visualizar el resultado del procesamiento

Visualizar las imágenes en color o en escala de grises

Proyecto software: estructura del proyecto

- Fichero de descripción proyecto: *proyVA.pro*
- Formulario de Qt: *mainwindow.ui*
- Clases:
  - *MainWindow*: clase principal encargada de la gestión del proyecto. Contiene el formulario de Qt y realiza el control de los posibles eventos.
  - *ImgViewer*: visor de imágenes con diversos métodos de dibujo.

Proyecto software: estructura del proyecto

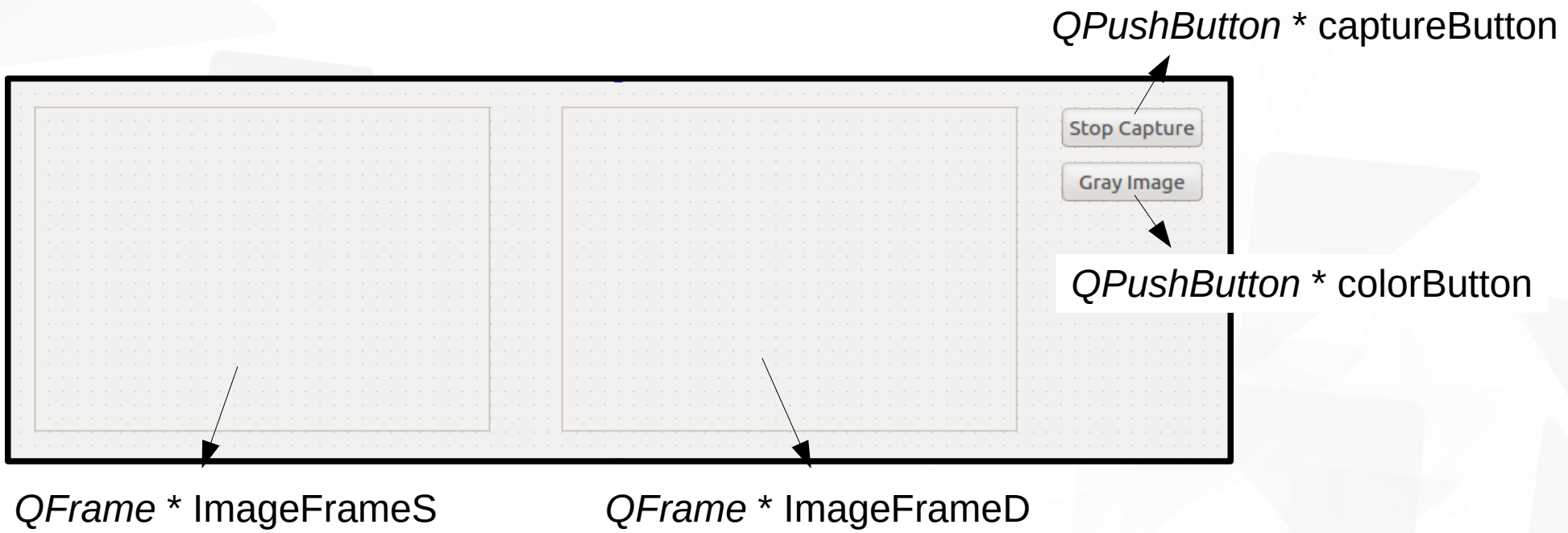
ImgViewer

- Proporciona métodos para visualizar imágenes y dibujar diferentes elementos sobre ellas.
- Métodos de interés:
  - *void drawSquare(const QPoint &, int sideX, int sideY, const QColor &, bool fill=false , int id= -1, float rads=0, float width=0)*: dibuja el cuadrado especificado del color indicado por parámetro.
    - Ejemplo: drawSquare(QPoint(200, 120), 50, 40, Qt::green)
  - *void drawLine(const QLine &line, const QColor & c, float width=0)*: dibuja la línea especificada del color indicado
    - Ejemplo: drawLine(QLine(20, 12, 180, 110), Qt::red)

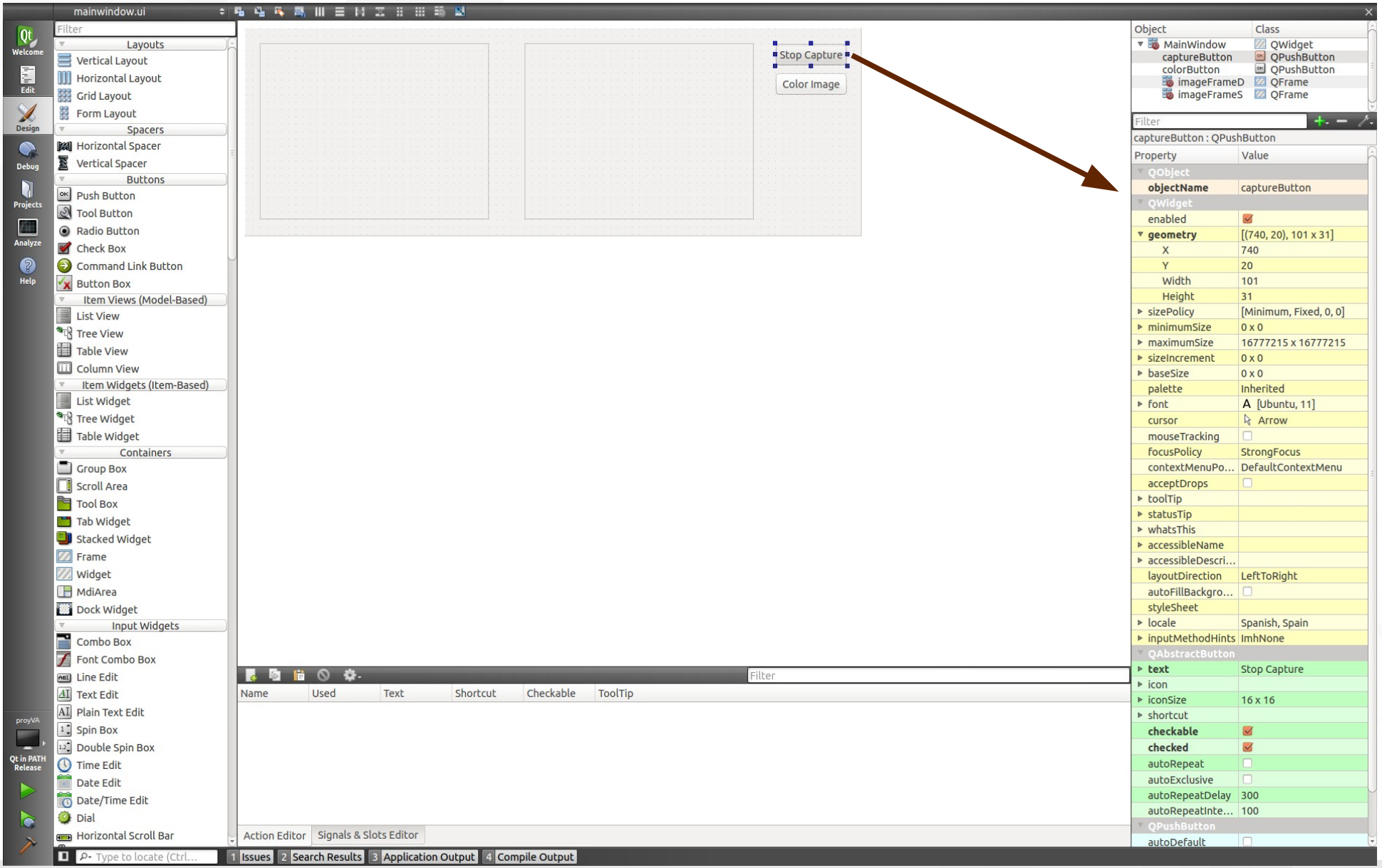
Proyecto software: estructura del proyecto

MainWindow

- Clase principal encargada de la gestión de la aplicación.
- Atributos:
  - *Ui::MainWindow *ui*: formulario de Qt. Cada elemento del formulario es un puntero al objeto de la clase que corresponda.



Proyecto software: estructura del proyecto



Proyecto software: estructura del proyecto

- Atributos:
  - ***QTimer timer***: produce un evento de tiempo de manera periódica.
  - ***ImgViewer *visorS, *visorD***: visores de la imagen original y la imagen procesada.
  - ***VideoCapture *cap***: capturador de OpenCV.
  - ***Mat colorImage, grayImage***: imágenes en color y en grises resultantes de la captura.
  - ***Mat destColorImage, destGrayImage***: imágenes en color y en grises resultantes del procesamiento.
  - ***bool winSelected***: bandera que indica si se ha seleccionado alguna ventana a través del visor de la imagen capturada.
  - ***Rect imageWindow***: posición y tamaño de la ventana seleccionada.

Proyecto software: estructura del proyecto

- Métodos:
  - **Constructor** y destructor

```
MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) : QMainWindow(parent), ui(new Ui::MainWindow)
{
    ui->setupUi(this);

    cap = new VideoCapture(0);
    winSelected = false;

    colorImage.create(HEIGHT,WIDTH,CV_8UC3);
    grayImage.create(HEIGHT,WIDTH,CV_8UC1);
    destColorImage.create(HEIGHT,WIDTH,CV_8UC3);
    destColorImage.setTo(0);
    destGrayImage.create(HEIGHT,WIDTH,CV_8UC1);
    destGrayImage.setTo(0);

    visorS = new ImgViewer(&grayImage, ui->imageFrameS);
    visorD = new ImgViewer(&destGrayImage, ui->imageFrameD);

    connect(&timer,SIGNAL(timeout()),this,SLOT(compute()));
    connect(ui->captureButton,SIGNAL(clicked(bool)),this,SLOT(start_stop_capture(bool)));
    connect(ui->colorButton,SIGNAL(clicked(bool)),this,SLOT(change_color_gray(bool)));
    connect(visorS,SIGNAL(mouseSelection(QPointF, int, int)),this,SLOT(selectWindow(QPointF, int, int)));
    connect(visorS,SIGNAL(mouseClic(QPointF)),this,SLOT(deselectWindow(QPointF)));
    timer.start(30);
}
```

Proyecto software: estructura del proyecto

- Métodos:
  - Constructor y **destructor**

```
MainWindow::~MainWindow()
{
    delete ui;
    delete cap;
    delete visorS;
    delete visorD;
    colorImage.release();
    grayImage.release();
    destColorImage.release();
    destGrayImage.release();
}
```

Proyecto software: estructura del proyecto

- Métodos:
  - Slots

```
void MainWindow::compute()
{

    //Captura de imagen
    if(ui->captureButton->isChecked() && cap->isOpened())
    {
        *cap >> colorImage;
        cv::resize(colorImage, colorImage, Size(WIDTH,HEIGHT));
        cvtColor(colorImage, grayImage, COLOR_BGR2GRAY);
        cvtColor(colorImage, colorImage, COLOR_BGR2RGB);

    }


    //En este punto se debe incluir el código asociado con el procesamiento de cada captura


    //Actualización de los visores

    if(winSelected)
        visorS->drawSquare(QRect(imageWindow.x, imageWindow.y, imageWindow.width,imageWindow.height),Qt::green );

    visorS->update();
    visorD->update();

}
```

Proyecto software: estructura del proyecto

- Métodos:
  - Slots

```
void MainWindow::start_stop_capture(bool start)
{
    if(start)
        ui->captureButton->setText("Stop capture");
    else
        ui->captureButton->setText("Start capture");
}

void MainWindow::change_color_gray(bool color)
{
    if(color)
    {
        ui->colorButton->setText("Gray image");
        visorS->setImage(&colorImage);
        visorD->setImage(&destColorImage);
    }
    else
    {
        ui->colorButton->setText("Color image");
        visorS->setImage(&grayImage);
        visorD->setImage(&destGrayImage);
    }
}
```

Proyecto software: estructura del proyecto

- Métodos:
  - Slots

```
void MainWindow::selectWindow(QPointF p, int w, int h)
{
    QPointF pEnd;
    if(w>0 && h>0)
    {
        imageWindow.x = p.x()-w/2;
        if(imageWindow.x<0)
            imageWindow.x = 0;
        imageWindow.y = p.y()-h/2;
        if(imageWindow.y<0)
            imageWindow.y = 0;
        pEnd.setX(p.x()+w/2);
        if(pEnd.x()>=WIDTH)
            pEnd.setX(WIDTH-1);
        pEnd.setY(p.y()+h/2);
        if(pEnd.y()>=HEIGHT)
            pEnd.setY(HEIGHT-1);
        imageWindow.width = pEnd.x()-imageWindow.x+1;
        imageWindow.height = pEnd.y()-imageWindow.y+1;
        winSelected = true;
    }
}

void MainWindow::deselectWindow(QPointF p)
{
    std::ignore = p;
    winSelected = false;
}
```