



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL Especialidad en
ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

PROYECTO FIN DE CARRERA

**LA DOCENCIA DE VISIÓN ARTIFICIAL EN
EL GRADO EN INGENIERÍA EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA
INDUSTRIAL**

Autor:

Pedro Rodríguez Villoria

Tutor:

Gómez García-Bermejo, Jaime

**Ingeniería de
Sistemas y Automática**

MAYO -- 2013

1. Marco del proyecto

Se puede definir la “Visión Artificial” como un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información obtenida a través de imágenes digitales.

La visión artificial es una fuente de gran alcance como herramientas para la industria y otras disciplinas, incluidos los multimedia, la fabricación, la medicina y la teledetección. Los potenciales beneficios prácticos de los sistemas de visión por computador son inmensos.

Esta tecnología es un tema corriente de estudio en ciencias de la computación y la ingeniería. Con la rápida explosión de la multimedia, la gran oferta de cámaras, el desarrollo de los dispositivos de adquisición de imágenes y el abaratamiento de éstos, la implantación de un sistema de visión artificial está al alcance de cualquier aplicación industrial.

2. Objetivos

Hoy en día, hay una fuerte necesidad de entrenar a los estudiantes en las técnicas de visión artificial. Cada estudiante de ingeniería debería tener algún tipo de educación básica, y en nuestro caso los alumnos de Grado en Ingeniería Electrónica y en Automática Industrial deben tener conocimientos de visión artificial.

El presente proyecto cubrirá esa necesidad educativa. Mediante la asignatura de “Visión Artificial” los alumnos del Grado en Ingeniería en Electrónica Y en Automática Industrial tendrán unos conocimientos amplios de las técnicas empleadas en visión artificial así como de una mayor comprensión de los procesos de formación de imágenes digitales.

Para elección de los contenidos del temario se realizará un estudio de diferentes cursos de visión artificial en distintas universidades. Este estudio tendrá cuatro marcos: un marco internacional, un marco europeo, un marco nacional y por último, la Universidad de Valladolid. El estudio del “estado del arte” ha servirá para que tanto el temario como la dinámica del curso elegido se adapten a las características de la asignatura puestas por la Universidad y esté en consonancia con los cursos actuales en visión artificial en otras universidades.

Dada la naturaleza de la disciplina, Visión Artificial, la asignatura debe tener un marcado carácter práctico siendo este el objetivo a la hora de realizar el material.

3. Estructura del proyecto

El presente proyecto recoge la elaboración de todo el material para la docencia de la asignatura “Visión Artificial” para el Grado. El temario está dividido en dos tipos de sesiones, unas sesiones teóricas de aula y unas sesiones de laboratorio. Se ha realizado de este modo dada la existencia de horas en las que los alumnos no disponen de ordenador. Puesto que los ejercicios se realizan indispensablemente con ordenador, la materia más idónea que se puede enseñar en estas sesiones es el estudio de los elementos físicos de un sistema de visión artificial. Las sesiones de laboratorio están dedicadas al estudio de los métodos y técnicas de tratamiento de imágenes digitales. Será en estas sesiones donde los alumnos ensayen métodos, programen funciones y resuelvan ejercicios que faciliten la comprensión de la teoría.

Todo el material está orientado para ser implementado bajo el entorno de Matlab.

4. Sesiones de aula

El temario que compone estas sesiones se divide en seis capítulos. En estos capítulos se imparten los conceptos más teóricos de la asignatura. Son aquellos en los que no es necesaria la realización de prácticas para afianzar su aprendizaje.

El primer capítulo es una introducción a la visión artificial. Se exponen algunas aplicaciones en diferentes campos y se introducen la formación de imágenes digitales.

En el segundo capítulo se estudian las cámaras. Las cámaras es el primer elemento físico que entra en juego en un sistema de visión artificial. La elección de la cámara adecuada y del conocimiento de sus características es esencial para desarrollar con éxito una aplicación. Se estudian los tipos de cámaras y los sensores que realizan la representación de las señales ópticas en señales digitales.

El tercer capítulo está dedicado a las ópticas. La elección de una u otra óptica condiciona las capacidades de la cámara para obtener una representación de una escena. Es importante que los alumnos conozcan los tipos de ópticas y sus características. En él se estudiará la geometría de formación de imágenes, los aspectos teóricos que caracterizan las lentes, los tipos de ópticas y los filtros ópticos.

El cuarto capítulo será para el estudio de la iluminación. En un ambiente industrial de trabajo la iluminación puede ser manipulada para obtener imágenes que faciliten el tratamiento y posterior extracción de características. Los alumnos aprenderán los diferentes parámetros de una fuente de iluminación.

Hasta el momento se han estudiado los elementos físicos que componen un elemento de visión artificial. El quinto tema está dedicado a la visión 3D. Aunque podría ser otro capítulo más del temario de laboratorio, se ha incluido en estas sesiones para descongestionar el ya extenso temario de laboratorio. En la actualidad hay muchas aplicaciones de visión tridimensional y es esencial instruir a los alumnos en los fundamentos de la visión 3D. En este capítulo se estudiará la calibración de las cámaras, la geometría de la localización de puntos en espacios tridimensionales, la visión estéreo y otras técnicas de reconstrucción 3D (luz estructurada y tiempo de vuelo).

El último capítulo está dedicado a la “visión industrial”. Se trata de evaluar los aspectos que conlleva la implantación de los sistemas de visión artificial en la industria y las características que debe reunir para su implantación. Por último se hace una introducción a las “cámaras inteligentes”. Son dispositivos compactos que integran cámara, óptica e iluminación. Además también disponen de un procesador que permite el tratamiento de la imagen. Se pretende que los alumnos conozcan las características y posibilidades de éstos dispositivos como medio para implementar aplicaciones y poder volcar los conocimientos adquiridos en el curso.

5. Sesiones de Laboratorio

Este temario es la pieza central de la asignatura y por tanto también de este proyecto. En estas sesiones los alumnos aprenderán métodos, procesos y técnicas de tratamiento de imágenes que luego pondrán en práctica mediante la resolución de ejercicios.

La intención en la elaboración de los capítulos ha sido para que el material sirva para las exposiciones del profesor y como apuntes de estudio para los alumnos. Son de fácil comprensión y están explicados los métodos con ejemplos resueltos paso a paso para que sea muy intuitivo su estudio.

La dinámica de estas sesiones se puede dividir en dos partes: una primera parte dedicada a la exposición de temas por el profesor y una segunda parte de trabajo autónomo del alumno. Con este fin, se ha desarrollado una colección de ejercicios con el objetivo de servir de complemento al aprendizaje de la teoría.

Los ejercicios de prácticas están realizados para que los alumnos desarrollen sus habilidades en la resolución de problemas y pongan en práctica las herramientas estudiadas al principio de la sesión. La dificultad de los ejercicios se incrementa de forma gradual, englobando las prácticas finales los procesos aprendidos con anterioridad.

También se ha desarrollado un trabajo de curso que los alumnos deberán realizar. Se trata de un ejercicio en el que los estudiantes deberán extraer información útil de una imagen utilizando las técnicas que han aprendido. La solución es abierta permitiendo que los diferentes estudiantes profundicen más o menos en función de sus habilidades.

En cuanto al temario de laboratorio, está dividido en seis capítulos. El orden de los capítulos ha sido elegido a propósito para que representes los pasos que se realizan a la hora de procesar una imagen.

El capítulo primero está dedicado a introducir a los alumnos a la *toolbox* “*Image Processing Toolbox*” de MatLab. Los alumnos deberán de programar funciones y aunque han cursado asignaturas de programación, este capítulo servirá de rápido repaso. Se explicará a su vez cómo es almacenada y tratada la información de las imágenes, los tipos de datos, la representación de imágenes a color (RGB). También se introduce una primera herramienta de segmentación, la binarización.

Una vez introducido el software y conocido cómo está representada la información se procederá al estudio del tratamiento de imágenes digitales.

En primer lugar, una vez adquirida la imagen y almacenada se realizan las transformaciones geométricas oportunas para facilitar las posteriores operaciones. En este capítulo se estudiará la rotación, el escalado y la traslación. Algunas de estas transformaciones serán programadas por los alumnos. Por último se explican los métodos de interpolación y se termina el capítulo con ejemplos de ejecución en MatLab.

El capítulo tercero está dedicado al filtrado. El filtrado tiene el objetivo de eliminar el ruido, de mejorar la calidad de la información o de extraer características de la imagen. En primer lugar se introduce el concepto de ruido. Los tipos de ruido y sus posibles causas. A continuación se explican los filtros espaciales (filtros lineales y no lineales) y los filtros en el dominio de la frecuencia son introducidos pero no estudiados en detalle. En las explicaciones se cuenta con ejemplos resueltos que reflejan las iteraciones realizadas para permitir comprender mejor el funcionamiento. Se explican por último los filtros extractores de contornos, filtros basados en la primera derivada, en la segunda derivada y el método de Canny. Para terminar se enuncian las funciones específicas de MatLab para este tema.

El cuarto capítulo corresponde a la morfología. Son operaciones que simplifican las imágenes, pero conservando las características de forma de los objetos. En primer lugar se explican las relaciones entre píxeles (vecindad, conectividad, adyacencia, etc). Seguidamente se enuncian las

operaciones básicas sobre conjuntos (unión, intersección, complemento, etc). A continuación se describen con detalle las operaciones morfológicas sobre imágenes binarias (dilatación/erosión y apertura/cierre). Posteriormente también las operaciones morfológicas en escala de grises. Se finaliza el capítulo con diferentes aplicaciones para la detección de características mediante operaciones morfológicas y una serie de ejemplos utilizando las funciones de MatLab específicas para este capítulo.

El capítulo cinco es el capítulo de mayor importancia. En él se estudiarán los distintos métodos para la extracción de características. En este punto del tratamiento, se dispone del objeto con sus características definidas y se debe proceder a extraer la información útil que se precise para llevar a cabo la aplicación. El capítulo se comenzará estudiando los descriptores geométricos (tamaño, rectangularidad, centro de gravedad, orientación, etc). A continuación técnicas como el etiquetado, el número de Euler y los seguidores de contornos (método de la tortuga de Papert). Finalmente se describen los descriptores geométricos para contornos (código cadena, circularidad, perímetro, etc). En resumen, este capítulo posibilita llevar a cabo la interpretación de la escena para realizar una toma de decisiones definida por la aplicación de visión artificial.

El último capítulo también está destinado al estudio de técnicas de extracción de características, pero a diferencia del capítulo anterior, serán técnicas más robustas cuyo objetivo es encontrar ciertas estructuras en la escena y de este modo agilizar la extracción de información útil. Se comenzará estudiando las técnicas para detectar líneas y circunferencias. Estas son la transformada de Hough caracterizada para rectas y circunferencias, el ajuste por mínimos cuadrados para circunferencias y el método RANSAC para circunferencias y líneas. A continuación se estudiarán los métodos para la detección de esquinas. En concreto se explicará el método de Harris&Stephens y se introducirán otros métodos sin estudiarlos en detalle. Por último se estudiarán dos técnicas. Una de ellas es el “*Template Matching*”, que permite obtener la localización de la mayor correspondencia entre una plantilla y la imagen. De esta forma podremos detectar en la imagen zonas iguales a la plantilla, únicamente se precisa conocer a priori el modelo de la plantilla. La otra técnica es el crecimiento de regiones, es una técnica sencilla y potente para segmentar regiones y simplificar el procesado de la imagen.

En conclusión, estas sesiones educan a los alumnos en visión artificial, dotándoles de herramientas y métodos para implementar una aplicación de visión artificial. El refuerzo práctico diseñado pretende facilitar a los alumnos el aprendizaje de los métodos y entrenar la destreza de los alumnos en la resolución de problemas de visión artificial.

6. Conclusiones

Este proyecto ha definido y organizado el material para la docencia de la asignatura. El objetivo es realizar un temario completo que dote a los alumnos de unos amplios conocimientos-base en visión artificial.

La distribución se ha adaptado a las condiciones de la asignatura y el temario se ha elegido en consonancia con los diferentes cursos de visión artificial en otras universidades. Se han estudiado los anteriores cursos de visión artificial presentes en la Universidad de Valladolid y se han incluido sus buenas características y se han mejorado las posibles deficiencias.

La nueva asignatura tiene un enfoque desde el punto de vista del alumno, haciendo los apuntes más desarrollados e intuitivos que faciliten su aprendizaje. Se han incluido ejercicios de ejecución resueltos paso a paso, ejemplos aplicados y multitud de ejemplos de aplicaciones.

El marcado carácter práctico de la visión artificial hace que sea imprescindible reforzar el aspecto práctico. A este fin, se dispone de una colección de ejercicios adaptados al temario para que los alumnos pongan en práctica los conceptos teóricos. Con los diferentes ejercicios, los alumnos adquirirán destreza en programación y habilidades en la búsqueda de soluciones a problemas de visión artificial. Todo ello capacitará a los estudiantes para la implantación de una aplicación de visión artificial.

La nueva asignatura ha sido elaborada por un alumno, el propio autor del proyecto, de forma que la dinámica del curso y los aspectos del temario tienen un enfoque idóneo facilitar la docencia.



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



ESCUELA de INGENIERÍAS INDUSTRIALES

**INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL Especialidad en
ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

PROYECTO FIN DE CARRERA

**LA DOCENCIA DE VISIÓN ARTIFICIAL EN
EL GRADO EN INGENIERÍA EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMÁTICA
INDUSTRIAL**

Autor:

Pedro Rodríguez Villoria

Tutor:

Gómez García-Bermejo, Jaime

**Ingeniería de
Sistemas y Automática**

MAYO -- 2013



INDICE

1. <u>Introducción y objetivos</u>	1
1.1 Marco del Proyecto	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Estructura del Proyecto	4
2. <u>La Visión Artificial en la Formación en Ingeniería</u>	9
2.1 Introducción	9
2.2 Marco Internacional	10
2.2.1 Introducción	10
2.2.2 Fichas de Asignaturas	10
2.2.3 Discusiones	18
2.3 Marco Nacional	19
2.3.1 Introducción	19
2.3.2 Fichas de Asignaturas	19
2.3.3 Discusiones	33
2.4 La Universidad de Valladolid	34
2.4.1 Asignaturas Anteriores	34
2.4.2 Nueva Asignatura para el Grado	37
2.5 Conclusiones	39

<u>3. Sesiones de Aula</u>	43
3.1 Aspectos Generales	43
3.2 Índice de Contenidos	44
3.3 Descripción de los Contenidos	46
3.3.1 T1: Introducción a la Visión Artificial	46
3.3.2 T2: Cámaras	47
3.3.3 T3: Ópticas	49
3.3.4 T4: Iluminación	50
3.3.5 T5: Visión 3D	52
3.3.6 T6: Visión industrial	54
3.5 Conclusiones	55
<u>4. Sesiones de Laboratorio</u>	59
4.1 Aspectos Generales	59
4.2 Programación Temporal	60
4.3 Planteamiento General de las Sesiones	63
4.4 Desarrollo de los Contenidos	64
4.4.1 P1: Introducción a MatLab	64
4.4.2 P2: Transformaciones Geométricas	65
4.4.3 P3: Filtrado de Imágenes Digitales	67
4.4.4 P4: Morfología	70
4.4.5 P5: Extracción de Características	73
4.4.6 P6: Otras Herramientas de Segmentación	75



Indice

4.5 Prácticas	77
4.5.1 Ejercicios	78
4.5.1.1 Ejercicios P1	78
4.5.1.2 Ejercicios P2	83
4.5.1.3 Ejercicios P3	86
4.5.1.4 Ejercicios P4	92
4.5.1.5 Ejercicios P5	99
4.5.1.6 Ejercicios P6	107
4.5.2 Trabajo de curso	115
4.6 Conclusiones	118
5. <u>Estudio Económico</u>	121
5.1 Introducción	121
5.2 Coste Directos	122
5.2.1 Costes de Personal	122
5.2.2 Costes Amortizables de Programas y Equipos	125
5.2.3 Costes Derivados de otros Materiales	126
5.2.4 Total Costes Directos	127
5.3 Costes Indirectos	128
5.4 Costes Totales	129

<u>6. Conclusiones</u>	133
6.1 Conclusiones	133
6.2 Líneas Futuras	134
<u>7. Bibliografía</u>	137
7.1 Bibliografía	137
7.2 Libros	137
7.3 Páginas Web	138
<u>Anejo I: Códigos Fuente de Programas</u>	145
I.I Códigos Fuente de P1	145
I.II Códigos Fuente de P2	157
I.III Códigos Fuente de P3	163
I.IV Códigos Fuente de P4	174
I.V Códigos Fuente de P5	189
I.VI Códigos Fuente de P6	208
I.VII Códigos Fuente de trabajo de curso	224

Capítulo 1:

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS



1.1 MARCO DEL PROYECTO

Se puede definir la “Visión artificial” como un campo de la “Inteligencia Artificial” que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, permite la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información obtenida a través de imágenes digitales.

La visión es quizás el sentido humano más importante. Nos proporciona aparentemente sin esfuerzo, con un detalle tridimensional (3D) la descripción de un mundo complejo y rápidamente cambiante. La visión por computador, permite a las computadoras comprender e interpretar la información visual de imágenes estáticas y secuencias de vídeo.

Durante la última década, la visión artificial ha pasado de ser un área de investigación a una tecnología ampliamente aceptada, capaz de proporcionar un aumento dramático en la productividad y mejorar niveles de vida. Los factores clave que han contribuido son el crecimiento exponencial de la velocidad del procesador y la capacidad de memoria.

La visión artificial es una fuente de gran alcance como herramientas para la industria y otras disciplinas, incluidos los multimedia, la fabricación, la medicina y la teledetección. Los potenciales beneficios prácticos de los sistemas de visión por computador son inmensos.

Esta tecnología es un tema corriente de estudio en ciencias de la computación y la ingeniería. Con la rápida explosión de la multimedia, la gran oferta de cámaras, el desarrollo de los dispositivos de adquisición de imágenes y el abaratamiento de éstos, la implantación de un sistema de visión artificial está al alcance de cualquier aplicación industrial.

Las principales aplicaciones de la visión artificial en la industria actual son:

- Identificación e inspección de objetos.
- Determinación de la posición de los objetos en el espacio.
- Establecimiento de relaciones espaciales entre varios objetos (guiado de robots).
- Determinación de las coordenadas importantes de un objeto.
- Realización de mediciones angulares.
- Mediciones tridimensionales.
- Modelado 3D de objetos.

En las industrias productivas la visión artificial es un factor clave en el desarrollo de la calidad total dentro de los diferentes procesos de automatización industrial. Su implantación genera un aumento en el nivel de producción y una reducción en los costos de fabricación, elevando los niveles de competitividad.

La visión artificial se ha convertido en una parte omnipresente en la industria y fuera de ella. Las aplicaciones fuera de la industria son numerosas y van desde las bases de imágenes a los interfaces hombre-máquina, las imágenes médicas, robótica, sistemas de seguridad, etc. Por lo que hoy en día hay una fuerte necesidad de entrenar a los estudiantes de ingeniería en las técnicas de visión artificial.



1.2 OBJETIVOS

Es necesario que los estudiantes del nuevo Grado en Ingeniería en Electrónica y en Automática Industrial reciban algún tipo de educación básica en visión artificial. Con el presente proyecto se cubrirá esa necesidad educativa. Mediante la asignatura de “Visión Artificial” los alumnos tendrán unos amplios conocimientos de las técnicas empleadas en visión artificial así como de una mayor comprensión de los procesos de formación de imágenes digitales.

El presente proyecto desarrollará un completo temario y material didáctico correspondiente para la docencia de la asignatura. Todo el temario y el material estarán orientados para que los alumnos puedan entender la materia de una forma sencilla e intuitiva. Se pretende que el material sirva tanto para las conferencias del profesor, como apuntes de estudio autónomo para los alumnos.

La elección de la materia y el orden en la que ésta se presentada a los alumnos será elegida para permitir que los conocimientos adquiridos con anterioridad sirvan de base para los siguientes. Asimismo, se reforzará el carácter práctico de la asignatura con una amplia colección de prácticas lo más realista posibles que emulen aplicaciones reales de visión artificial.

En la asignatura la componente práctica tendrá una importancia fundamental. A este fin, la dinámica de las sesiones de laboratorio estará dirigida a fomentar la puesta en práctica de los métodos y técnicas de tratamiento de imágenes digitales. Mediante los ejercicios de prácticas, los alumnos entrenarán sus capacidades para resolver problemas de visión artificial utilizando los conceptos que estudiarán en la teoría. El material correspondiente será implementado bajo el entorno Matlab.

En lo referente al campo de visión artificial, MATLAB provee una toolbox, “Image Processing Toolbox” para el tratamiento de imagen, que sirvan como base para desarrollar soluciones de visión artificial. Para el desarrollo de programas que conlleven una adquisición de imágenes también será necesaria la utilización de la toolbox “Image Acquisition Toolbox”, que es la encargada de adquirir las imágenes desde dispositivos externos.

1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

A continuación se resume el contenido de cada uno de los apartados que componen el proyecto:

Capítulo 2 – La Visión Artificial en la Formación en la Ingeniería

Se expone de forma resumida los diferentes cursos de visión artificial consultados de distintas universidades nacionales e internacionales. De forma análoga se presentan las características de la asignatura de Visión Artificial en la Universidad de Valladolid.

Capítulo 3 – Sesiones de Aula

Incluye los aspectos generales de las sesiones de aula así como la organización del temario y la programación provisional.

Capítulo 4 – Sesiones de Laboratorio

Se explica la programación del temario así como la dinámica escogida para las sesiones. También se exponen los ejercicios de prácticas y sus respectivas explicaciones a las soluciones.

Capítulo 5 – Estudio Económico

Se exponen los costes derivados de la realización de este proyecto.

Capítulo 6 – Conclusiones

En este capítulo se hace una reflexión del resultado final obtenido, así como las conclusiones que se pueden obtener de ello. También se plantean posibles líneas de mejora de este proyecto de cara al futuro.



Introducción y objetivos

Capítulo 7 – Bibliografía

Fuentes consultadas para la realización del proyecto.

Anejo I – Códigos Fuente de Programas

Contiene los códigos fuente correspondientes a los trabajos y ejercicios de prácticas.

Todos los apuntes realizados para los temarios correspondientes a las sesiones de aula y de laboratorio se han incluido en formato electrónico en el CD que se incluye en este tomo. Se ha realizado de este modo ya que su gran extensión hace inviable recogerlo de forma gráfica en el tomo. Del mismo modo también se encuentran en el CD adjunto los archivos de imagen a los ejercicios y trabajos de prácticas y sus correspondientes ficheros de aplicación en MatLab.

Capítulo 2:

**LA VISIÓN ARTIFICIAL EN LA
FORMACIÓN EN INGENIERÍA**



2.1 INTRODUCCIÓN

Para realización de este proyecto se ha estudiado los diferentes cursos de visión artificial en diversas universidades dentro de España y fuera de ella. El material recopilado ha servido para crear un temario completo y amplio que dota a los nuevos alumnos de Grado en Ingeniería en Electrónica y en Automática Industrial con unos conocimientos extensos en visión artificial.

En este apartado se mostrarán los planes de los cursos consultados. Así como una breve ficha con los aspectos más destacados. En algunas Universidades la información es de acceso libre y en otras está restringido el acceso, sin embargo de cada una de ellas se ha sacado información para estructurar el temario del proyecto.

2.2 MARCO INTERNACIONAL

2.2.1 INTRODUCCIÓN

Para realizar la búsqueda se tiene como referencia tres escenarios. Un escenario con universidades de Estados Unidos, otro con universidades europeas y un tercer escenario con alguna universidad fuera de estas áreas (por ejemplo Malasia y Australia).

2.2.2 FICHAS DE ASIGNATURAS

A continuación se presentan las asignaturas encontradas con una breve ficha de su programa y los aspectos más destacables.

I. STANFORD UNIVERSITY (Estados Unidos)

Nombre asignatura: Introduction to Computer Vision.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

<http://vision.stanford.edu/teaching/cs231a/index.html>

Comentarios: La mayoría de los ficheros son de acceso libre. El temario es muy complicado, corresponde a un curso para alumnos con amplios conceptos previos en visión artificial. Las sesiones de laboratorio se intercalan en el desarrollo de la asignatura. La evaluación consta de la resolución de ejercicios a lo largo del curso (40%), de un examen (20%) y de la realización de un proyecto propuesto por el alumno (40%). Las prácticas se pueden realizar sobre Matlab o sobre OpenCV.

PROGRAMA

MODULE 1: Introduction

1. Introduction to Computer Vision.
2. Case study: Face Recognition.

MODULE 2: Image Structure



3. Linear Filters.
4. Finding Lines: From Detection to Model Fitting.
5. Clustering and Segmentation I.
6. Clustering and Segmentation II.

MODULE 3: Camera Models

7. Camera Calibration.
8. Epipolar Geometry.
9. Stereo & Multi-view Reconstruction.

MODULE 4: Recognition: Building blocks

10. Detectors and Descriptors.
11. SIFT & Single Object Recognition.
12. Optical Flow & Tracking.

MODULE 5: Recognition: Objects, Scenes, Activities.

13. Introduction to Object Recognition and Bag-of-Words Models.
14. Object Classification: Bag of Words Models.
15. Object Classification and Detection: a Part-based Generative Model (Constellation Model).
16. Object Classification and Detection: a Part-based Discriminative Model (Latent SVM).
17. Human Motion Recognition.
18. Computer Vision: State-of-the-art and the Future.

II. MULTIMEDIA UNIVERSITY (Malasia)

Nombre asignatura: Computer Vision and Image Understanding.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

<http://fit.mmu.edu.my/subject/subjectdetails.php?sid=TCV3501>

Comentarios: Tiene un programa muy amplio. Sobre todo en técnicas de alto nivel. La asignatura tiene el mismo número de horas de teoría que de prácticas.

La evaluación consta de un examen final (40%) y del trabajo a lo largo del curso (60%). Las prácticas se realizan con OpenCV y Matlab.

PROGRAMA

1. Introduction:

Applications of Computer Vision, Overview of Computer Vision Systems, Software and Hardware.

2. Image Formation & Image Models:

Cameras (Projections and Camera Models), Radiometry, Light Sources and Effect, Shading Models, Photometric Stereo, Color Perception, Color Representation, Color Models, Camera Calibration, Least Square Parameter Estimation, Fundamental Matrix, Intrinsic and Extrinsic Camera Parameters Estimation, Radial Distortion, Analytical Photogrammetry.

3. Early Vision with Single Image Linear Filters:

Convolution, Shift Invariant Linear System, Fourier Transforms, Sampling and Aliasing, Image Noise Filtering, Image Smoothing, Image Enhancement, Edge Detection, Lines Detection, Corners Detection, Texture Representing, Texture Analysis and Synthesis, Shape from Texture.

4. Early Vision with Multiple Images:

Geometry of Multiple Views, Epipolar Geometry, Calibrated and Uncalibrated Cases, Stereopsis, Reconstruction, Rectification, Human Stereopsis, Binocular Fusion.

5. Mid-Level Vision:

Segmentation by Clustering, Shot Boundary Detection, Background Subtraction, Segmentation By Fitting A Model, Hough Transform, Segmentation and Fitting Using Probabilistic Models. Missing Data Problem, EM Algorithm in Line Fitting, Fundamental Matrix, Tracking, Kalman Filtering.

6. High-Level Vision:

Model-Based Vision, Probabilistic and Inferential Methods, Finding Templates Using Classifiers, Recognition by Relations



Between Templates, Relational Reasoning Using Probabilistic Models and Search, Using Classifier to Prune Search.

III. YORK UNIVERSITY (Estados Unidos)

Nombre asignatura: Computer Vision.

Dirección web:

<http://www.cse.yorku.ca/~minas/Vision98/4422.html>

Comentarios: Un ejemplo de temario y de evaluación. Las prácticas se desarrollan con MediMath, un software desarrollado en la misma universidad.

PROGRAMA

1. Camera Geometry, Lenses and Lighting.
2. Binary Images.
3. Segmentation and Edges.
4. Fourier Transforms and Filtering: linear and non-linear.
5. Visual Motion and Optical Flow.
6. Visual Motion and Structure.
7. Calibration.
8. Color.

IV. UNIVERSITY OF MINNESOTA (Estados Unidos)

Nombre asignatura: Computer Vision.

Duración: Anual.

Dirección web:

http://gandalf.psych.umn.edu/users/schrater/schrater_lab/courses/CompVis03/ComputerVision2003.html

Comentarios: El acceso a los archivos es libre. Un ejemplo excelente de programación de exposición de los contenidos. La evaluación costa de un trabajo final (40%) y de la entrega de ejercicios a lo largo del curso (60%).

PROGRAMA

1. Introduction
2. Camera Models
3. Multiple Views
4. Stereo cont'd
5. Photometry/Image formation
6. Color
7. Linear Filters
8. Edge detection
9. Texture
10. Segmentation
11. Motion Estimation
12. Tracking
13. Object Recognition/Pose Computation

V. INSTITUT de la FRANCOPHONIE pour L'INFORMATIQUE (Francia)

Nombre asignatura: Traitement d'images.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

http://www2.ifi.auf.org/personnel/Alain.Boucher/cours/traitement_images/index.html

Comentarios: Un curso muy interesante. Los archivos son de acceso libre. La programación de la asignatura está detallada. La evaluación está dividida por bloques, no hay exámenes es 100% evaluación práctica. Las prácticas se desarrollan en OpenCV.



PROGRAMA

Module 1

1. Présentation du plan de cours
2. Introduction à l'image
3. Traitements de base

Module 2

4. Convolution
5. Traitements fréquentiels (Fourier)
6. Transformée de Fourier et traitements fréquentiels
7. Détection des contours
8. Evaluation des détecteurs de contours
9. Segmentation

Module 3

10. Couleur
11. Segmentation couleur en régions
12. Texture

Module 4

13. Opérations sur les images binaires
14. Chaîne complète de traitement d'images
15. Chaîne complète de traitement d'images
16. Détection et reconnaissance d'objets 2D

VI. UNIVERSITY of CAMBRIDGE (Gran Bretaña)

Nombre asignatura: Computer Vision.

Dirección web:

<http://www.cl.cam.ac.uk/teaching/0910/CompVision/>

Comentarios: Algunas partes son de acceso libre.

PROGRAMA

1. Overview. Goals of computer vision; why they are so difficult.
2. Image sensing, pixel arrays, CCD cameras. Image coding.

3. Biological visual mechanisms, from retina to primary cortex.
4. Mathematical operations for extracting structure from images.
5. Edge detection operators; the Laplacian and its zero-crossings.
6. Multi-resolution. Active Contours. Wavelets as primitives; SIFT.
7. Higher brain visual mechanisms; streaming; reciprocal feedback.
8. Texture, colour, stereo, and motion descriptors. Disambiguation.
9. Lambertian and specular surface properties. Reflectance maps.
10. Shape description. Codons; superquadrics and surface geometry.
11. Perceptual psychology and cognition. Vision as model-building.
12. Lessons from neurological trauma and deficits. Visual illusions.
13. Bayesian inference in vision. Classifiers; probabilistic methods.
14. Appearance-based versus model-based vision. Query languages.
15. Vision as a set of inverse problems. Regularisation.
16. Case study: face detection and recognition; face interpretation.

VII. UNIVERSITY of EDIMBURGH (Gran Bretaña)

Nombre asignatura: Advance Vision Module.

Dirección web:

<http://www.inf.ed.ac.uk/teaching/courses/av/>

Comentarios: Es un ejemplo de un curso de visión artificial avanzado.

Las prácticas se desarrollan en OpenCV y Matlab.

PROGRAMA

1. Orthographically viewed non-rigid 2D objects
2. Video Tracking (2D)
3. Video based human behaviour understanding
4. Recognising classes of shape
5. 3D objects from stereo vision (recognition)
6. 3D objects from range data (recognition)



VIII. UNIVERSITY of WESTERN AUSTRALIA (Australia)

Nombre asignatura: Computer Vision.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

<http://undergraduate.csse.uwa.edu.au/units/CITS4240/>

Comentarios: Aunque el acceso al temario está restringido se puede acceder a los archivos de laboratorio. La evaluación se basa en un examen escrito (70%) y a la realización de un cuaderno de ejercicios (30%). Las prácticas se realizan en Matlab.

PROGRAMA

Teoría:

1. Introduction, image formation, camera models and perspective geometry.
2. Binary images: thresholding, moments, topology.
3. Connected components, and morphological operations.
4. Fourier transform theory.
5. Image enhancement. Convolution and Correlation.
6. Edge detection: classical methods.
7. Camera calibration.
8. Projective Geometry: Single View Reconstruction.
9. Stereo and structured light. Self-calibration and fundamental matrix.
10. Motion.
11. Tracking and the Kalman Filter.
12. Colour.

Laboratorio:

- Práctica 1, Introduction to grey scale manipulation.
- Práctica 2, Binary images and object moments.
- Práctica 3, Morphology.
- Práctica 4, The Fourier Transform and the convolution theorem.
- Práctica 5, Constructing filters in the frequency domain.
- Práctica 6, Edge detection and the Hough Transform.

2.2.3 DISCUSIONES

Un requisito básico para la nueva asignatura será incluir unos temas introductorios acerca de los elementos físicos que componen un sistema de visión. Estos elementos son las cámaras, las ópticas, la iluminación. Tal y como se aprecia en los temarios: University of Cambridge (Tema 2. Image sensing, pixel arrays, CCD cameras, Image coding), University of York (Tema 1. Camera Geometry, Lenses and lighting) y en la Multimedia University (Tema 2. Image Formation & Image Models).

Como parte fundamental del tratamiento de imágenes, se debe incluir apartados de segmentación, morfología y de filtrado de imágenes como se hace en la mayoría de los temarios: Multimedia University (temas de 2 a 6), University of Cambridge (temas 4 y 5), Institut de la Francophonie pour l'Informatique (módulo 2) o University of Minnesota (temas 7, 8 y 10). Se podría dedicar un tema para cada uno de ellos.

En algunas universidades se estudia la geometría proyectiva y la visión 3D. Algunas de éstas son: Multimedia University (tema 4) o Stanford University (módulo 3). Siendo muy importante la aplicación de estos conceptos en la visión artificial y muy numerosos los procesos en los que se emplea el modelado 3D, no cabe duda que se debe incluir en el temario.

Las técnicas más avanzadas como por ejemplo: seguimiento de movimiento (temas 10 y 11, University of Western Australia) y (tema 12, University of Minnesota), multiresolución y contornos activos (tema 6, University of Cambridge) o el reconocimiento basado en modelos probabilísticos (tema 6, Multimedia University) corresponden más bien a una asignatura más completa y en la que los alumnos no partan sin conocimientos en visión industrial. Por lo que no corresponden con el carácter de la nuestra.

Las prácticas se realizan generalmente tanto en OpenCV y Matlab, es el caso de Stanford University, Multimedia University o University of Edimburgh. Por ello en la futura asignatura cualquiera podría ser una opción.

Por último cabe resaltar el marcado carácter práctico de la visión industrial y por ello la necesidad de reforzar ésta parte en la docencia de la asignatura. Por ello la evaluación práctica del alumno debe tener un mayor peso. Un ejemplo es el caso del Institut de la Francophonie pour l'Informatique, la evaluación del alumno es 100% práctica.



2.3 MARCO NACIONAL

2.3.1 INTRODUCCIÓN

En ésta búsqueda se pretende tener una visión general de la docencia de las distintas universidades españolas, aunque incluyendo por supuesto las universidades más importantes en la ingeniería industrial como la universidad Carlos III o la Politécnica de Valencia.

Se nombran las asignaturas que presentan un programa definido y completo y algunas de ellas disponen de acceso libre a los apuntes de la asignatura.

2.3.2 FICHAS DE ASIGNATURAS

A continuación se presentarán las universidades nacionales estudiadas:

I. UNIVERSIDAD CARLOS III de MADRID

Nombre asignatura: Sistemas de Percepción.

Departamento: Ingeniería de Sistemas y Automática.

Plan de estudios: Ingeniero Industrial.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

(ficha asignatura)

http://www3.uc3m.es/reina/Fichas/Idioma_1/223.14050.html

(página de la asignatura)

<http://ocw.uc3m.es/ingenieria-de-sistemas-y-automatica/sistemas-de-percepcion>

Comentarios: La materia se imparte en el aula, solamente se utiliza el laboratorio para realizar las prácticas. El contenido del temario es amplio, sin embargo los apuntes están orientadas a que sirvan como ayuda a la conferencia del profesor en las clases. No sirven como apuntes para que los alumnos puedan estudiar y repasar lo que el profesor explicó en clase. Las practicas se realizan sobre el software OpenCV.

La evaluación de la asignatura consta de una evaluación continua basada en trabajos y ejercicios (40%) y en una prueba final (60%).

PROGRAMA

Teoría:

1. Introducción a la visión por computador.
Iluminación. Óptica. Cámaras CCD. Tarjetas de adquisición y procesamiento de imágenes.
2. Elementos de un sistema de visión por computador
Muestreo espacial. Niveles de gris. Relaciones entre píxeles: vecindad, conectividad, distancia. Operaciones aritméticas y lógicas. Transformaciones geométricas.
3. Imágenes digitales
Transformaciones de la imagen. Procesamiento espacial. Dominio de la frecuencia.
4. Fundamentos matemáticos
Manipulación del contraste. Modificación del histograma. Eliminación de ruido. Realce de bordes. Falso color.
5. Procesamiento de imágenes
Detección de bordes. Texturas. Detección de movimiento.
6. Extracción de características
Segmentación basada en la detección de bordes. Segmentación de regiones.
7. Segmentación de imágenes
8. Transformaciones morfológicas y descripción de objetos.
9. Reconocimiento de objetos
El clasificador bayesiano. Agrupamiento.

Laboratorio:

- Práctica 1, Instalación de las librerías OpenCv.
- Práctica 2, Acceso a imágenes, cámaras y vídeos.
- Práctica 3, Modificación del contraste.
- Práctica 4, Espacios y análisis del color.
- Práctica 5, Filtrado de imágenes.
- Práctica 6, Transformaciones morfológicas.



La Visión Artificial en la Formación en Ingeniería

Práctica 7, Umbralización.

Práctica 8, Descriptores y clasificación.

PLANIFICACIÓN DE LA ASIGNATURA



Universidad Carlos III de Madrid

DENOMINACIÓN ASIGNATURA: SISTEMAS DE PERCEPCIÓN		
GRADO: INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA	CURSO: 4	CUATRIMESTRE: 1

PLANIFICACIÓN SEMANAL DE LA ASIGNATURA									
SEMA-NA	SESIÓN	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DE LA SESIÓN	GRUPO (Marcar X)		Indicar espacio necesario distinto aula (aula inform., laboratorio, etc.)	Indicar SI/NO es una sesión con 2 profesores (*)	TRABAJO DEL ALUMNO DURANTE LA SEMANA		
			GRAN-DE	PE-QUE-NO			DESCRIPCIÓN	HORAS PRESENCIALES	HORAS TRABAJO Semana Máximo 7 H
1	1	Presentación de la asignatura. Se explicará en detalle: el contenido de la asignatura, el trabajo a realizar por los alumnos a lo largo del curso, el cronograma detallado para cada grupo y el sistema de evaluación. Tema 0: Se realizará una introducción a la Visión por Computador, sus principales aplicaciones y bibliografía				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	3
1	2	Aplicaciones de la Visión por Computador. Se realizará una exposición externa mostrando con diversos vídeos los campos de aplicación del análisis de imágenes por ordenador.				NO	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
2	3	Tema 1: óptica/Cámaras. Se presentará la función de la óptica, así como sus principales parámetros y los distintos tipos de cámaras digitales que se utilizan en los sistemas de Visión por Computador.			aula informática	SI	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
2	4	La librería de programación OpenCV. Se realizará una introducción al entorno de programación en C++ que se utilizará para las clases de problemas de la asignatura.			aula informática	SI	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
3	5	Tema 2: Imágenes digitales. Se explicarán los conceptos de píxel, histograma, y espacios de color.				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
3	6	OpenCV: Acceso a los píxeles de una imagen, obtención de histogramas y espacios de color.			aula informática	SI	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
4	7	Tema 3: Filtrado espacial. Se explicarán los conceptos de convolución y correlación en imágenes digitales				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
4	8	OpenCV: Distintos modelos de correlación normalizada. Operaciones matemáticas			aula informática	SI	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
5	9	Tema 4: Preprocesamiento de imágenes. Se explicará cómo mejorar el contraste en las imágenes.				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
5	10	OpenCV: variación del contraste en las imágenes.			aula informática	SI	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
6	11	Tema 4: Preprocesamiento de imágenes II. Se explicará cómo reducir el ruido y el realce de bordes.				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
6	12	OpenCV: reducción de ruidos			aula informática	NO	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
7	13	Tema 5: Extracción de características. Se explicará diversos algoritmos que permiten la detección de bordes de los objetos.				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
7	14	OpenCV: Detección de bordes			aula informática	NO	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
8	15	Tema 5: Extracción de características. Se explicará diversos algoritmos para la detección del movimiento en las imágenes.				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
8	16	OpenCV: Detección de movimiento.			aula informática	NO	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
9	17	Tema 6: Segmentación. Se explicará los algoritmos para la separación de los objetos del fondo y de éstos entre sí.				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
9	18	OpenCV: Transformada de Hough, umbralización, uso de watershed.			aula informática	NO	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
10	19	Tema 7: Transformaciones Morfológicas. Se explicarán las diversas transformaciones que cambian la forma de los objetos, tanto en imágenes binarias como en niveles de gris.				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
10	20	OpenCV: Transformaciones Morfológicas en imágenes binarias y en niveles de gris			aula informática	NO	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
11	21	Tema 8: Características de regiones. Se explicarán los distintos descriptores que pueden obtenerse de los objetos segmentados.				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
11	22	OpenCV: Extracción de características			aula informática	NO	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
12	23	Tema 9: Reconocimiento de patrones. Se explicará el reconocimiento bayesiano				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
12	24	OpenCV: reconocimiento bayesiano I			aula informática	NO	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
13	25	Tema 9: Reconocimiento de patrones II. Se explicará los algoritmos de agrupamiento utilizados en el reconocimiento de objetos.				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
13	26	OpenCV: reconocimiento bayesiano II			aula informática	NO	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
14	27	Tema 10: Visión estéreo. Se explicarán los principios de la visión 3D utilizando dos cámaras.				NO	Lectura previa de los temas de clase. Estudiar los conceptos relacionados con lo explicado en clase.	1,5	5
14	28	OpenCV: Visión estéreo			aula informática	NO	Lectura previa de los temas de clase. Realización de los programas en C vistos en clase	1,5	
SUBTOTAL								42	+ 68 = 110
15		Recuperaciones, tutorías, entrega de trabajos, etc				NO			
16-18		Preparación de evaluación y evaluación				NO		3	3
TOTAL								150	

(*) El número máximo de sesiones con 2 profesores y/o de laboratorios experimentales será de 4.

II. UNIVERSIDAD PÚBLICA de NAVARRA

Nombre asignatura: Visión por Computador.

Departamento: Automática y Computación.

Plan de estudios: Ingeniero en Informática (2º Ciclo).

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

<http://www.unavarra.es/ficha-asignatura?codAsig=53512&idioma=es>

Comentarios: En la asignatura se hace una diferencia clara entre las sesiones de teoría en aula y las sesiones de laboratorio. El temario va en concordancia con el desarrollo de las prácticas siendo resaltado el carácter práctico de la asignatura. La evaluación consta de un examen final (50%) y de la realización de un trabajo (50%). El tema del trabajo puede ser propuesto por el alumno.

PROGRAMA

Teoría:

0. Introducción

Conceptos generales. Campos de Aplicación. Etapas de un proceso de visión por computador. Elementos de un sistema de visión por computador.

1. Formación y adquisición de imágenes

Iluminación. Óptica. Cámaras. Tarjetas de adquisición. Calibración.

2. Preprocesamiento de imágenes I

Conceptos y operaciones básicas. Imágenes digitales: muestreo y niveles de gris. Relaciones entre píxeles. Manipulación del contraste. Histograma.

3. Preprocesamiento de imágenes II

Filtrado espacial. Convolución. Filtros paso baja: suavizado. Filtros paso alta: realce de bordes

4. Preprocesamiento de imágenes III

Filtrado frecuencial. Transformada de Fourier (FT). Transformada rápida de Fourier (FFT). Filtros paso baja y filtros paso alta.



5. Detección de bordes

Operadores basados en la primera derivada. Operadores basados en la segunda derivada. Operador de Canny.

6. Segmentación I

Segmentación de regiones. Segmentación mediante umbralización. Crecimiento de regiones. División y unión de regiones.

7. Segmentación II

Segmentación basada en detección de bordes. Método basado en el gradiente. Transformada de Hough.

8. Extracción de características y descripción de los objetos

Descripción de similitud mediante matching. Matching por correlación. Descriptores de región: compacticidad, momentos, descriptores topológicos. Descriptores del contorno: signatura, descriptores de Fourier.

9. Clasificación de objetos

Reconocimiento estadístico. Agrupamiento de datos. Redes Neuronales Artificiales

10. Localización de los objetos en el espacio

Localización de objetos que se encuentran en un plano conocido. Localización de objetos que se encuentran en planos desconocidos: visión estéreo.

Laboratorio:

- Práctica 1 (1 sesión). Segmentación mediante umbralización.
- Práctica 2 (1 sesión). Reconocimiento de objetos sencillos mediante la compacticidad.
- Prácticas 3 (2 sesiones). Reconocimiento de objetos mediante los momentos de Hu.
- Práctica 4 (1 sesión). Localización y orientación de objetos.
- Práctica 5 (1 sesión). Reconocimiento y localización de objetos realizando matching mediante correlación.
- Prácticas 6 (2 sesiones). Segmentación mediante la Transformada de Hough.

- Práctica 7 (2 sesiones). Reconocimiento de objetos mediante la signatura.
- Práctica 8 (1 sesión). Reconocimiento de caracteres mediante Redes Neuronales Monocapa.
- Práctica 9 (1 sesión). Clasificación mediante Redes Neuronales Multicapa.
- Trabajo (2 sesiones). Trabajo de aplicación de las técnicas de visión por computador que se utilizará para la evaluación de la asignatura.

III. UNIVERSIDAD de GRANADA

Nombre asignatura: Visión Artificial.

Departamento: Ciencias de la computación e inteligencia artificial.

Plan de estudios: Ingeniero en Informática.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

https://etsiit.ugr.es/guias/actual/Planes/II/II_VA.pdf

Comentarios: El temario es muy extenso para una asignatura cuatrimestral y muy denso para una asignatura optativa. Éste temario sería idóneo para estudiantes con unos conocimientos previos amplios. Las prácticas se realizan con Matlab. La evaluación de la asignatura se basa en la presentación y defensa de las prácticas y de la asistencia a las clases. En caso de no superar las prácticas se deberá hacer una prueba escrita al final del cuatrimestre.

PROGRAMA

Teoría:

1. Introducción a la Visión Artificial
 - 1.1. Ámbito y objetivos de la visión artificial.
 - 1.2. Aspectos generales del sistema de percepción humano.
 - 1.3. Elementos de un sistema de Visión Artificial.
2. Detectores de puntos de interés: detector de Harris
 - 2.1. El problema de detectar bordes y esquinas.



- 2.2. Algoritmo de Harris para esquinas.
3. Geometría del proceso de formación de la imagen
 - 3.1. Modelo geométrico de la cámara.
 - 3.2. Modelos de proyección.
 - 3.3. Cámaras proyectivas y afines.
 - 3.4. Parámetros de la cámara.
4. Transformaciones de la cámara
 - 4.1. Catálogo de transformaciones lineales
 - 4.2. Invariantes de las transformaciones
5. Estimación de las transformaciones
 - 5.1. Proyectividades 3D-2D: Cámaras
 - 5.2. Algoritmo lineal DLT
 - 5.3. Algoritmo RANSAC y métodos no-lineales
 - 5.4. Construcción de imágenes panorámicas
6. El caso estéreo
 - 6.1. Algoritmo de los 8-puntos. Normalización.
 - 6.2. Algoritmo de los 7-puntos.
 - 6.3. Algoritmo RANSAC y métodos no-lineales
7. Estéreo: Geometría epipolar
 - 7.1. Concepto de geometría epipolar
 - 7.2. Relación entre la matriz fundamental y las cámaras
 - 7.3. Caso de los movimientos puros de traslación y giro
 - 7.4. Rectificación de pares estéreo
8. Reconstrucción 3D
 - 8.1. Parámetros intrínsecos conocidos
 - 8.2. N-Cámaras Afín

Laboratorio:

- Práctica 1, Implementación del algoritmo de Harris de detección de puntos.
- Práctica 2, Cálculo de los parámetros de una cámara.
- Prácticas 3, Estimación de correspondencias y homografía entre dos imágenes.
- Práctica 4, Estimación de la geometría epipolar.

Práctica 5, Reconstrucción de coordenadas 3D a partir de proyecciones.

IV. UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ

Nombre asignatura: Robótica y Visión por Computador.

Departamento: Ingeniería de Sistemas Industriales.

Plan de estudios: Ingeniero de Telecomunicación.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

<http://isa.umh.es/asignaturas/rvc/>

Comentarios: El temario está dividido en dos bloques, uno destinado a robótica y el otro destinado a visión por computador siendo éste último de nuestro interés. El temario de visión artificial comprende las bases de la visión artificial. Las prácticas se realizan con OpenCV. La evaluación consta de una prueba teórica y otra práctica. Lo más destacable de ésta asignatura es la posibilidad de realizar prácticas de laboratorio en puestos de trabajo remotos. El usuario puede tomar imágenes de una pieza y modificar parámetros como la luz, la orientación, sensores, etc.

PROGRAMA

Teoría:

Parte II. Visión por Computador

1. Sistemas de visión artificial.
2. Imágenes digitales.
3. Transformaciones de imágenes
4. Reducción del ruido
5. Detección de bordes
6. Segmentación de la imagen
7. Descripción y Reconocimiento de objetos
8. Análisis morfológico en imágenes
9. Compresión de imágenes
10. Aplicaciones de la visión por computador

**Laboratorio:**

- Práctica 1, Operaciones puntuales.
- Práctica 2, Reducción del ruido.
- Prácticas 3, Detección de bordes.
- Práctica 4, Segmentación de la imagen.
- Práctica 5, Descripción de las regiones.
- Práctica 6, Análisis morfológico.

V. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Nombre asignatura: Visión Artificial.

Departamento: Ingeniería de Sistemas y Automática.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

http://www.sia.eui.upm.es/isa/doku.php?id=asignaturas:vision_artificial#programa

Comentarios: Las prácticas se realizan con Matlab. La evaluación consta de tres partes: resolución de un trabajo (20%), entrega de prácticas a lo largo del curso (20%) y una prueba práctica (20%).

PROGRAMA**Teoría:**

1. Introducción
 - 1.1. Percepción natural y percepción artificial
 - 1.2. El sistema visual humano y los sistemas de visión artificial (SVA)
 - 1.3. Esquema físico de un SVA
 - 1.4. Esquema lógico de un SVA
 - 1.5. Campos de aplicación de los SVA
2. Formación de Imágenes
 - 2.1. Tipos de imágenes digitales
 - 2.2. Conceptos básicos
 - 2.3. Captación de imágenes digitales

- 2.4. Iluminación
- 2.5. Óptica
- 2.6. Compresión de imágenes digitales
- 3. Preproceso: Transformaciones en el dominio espacial
 - 3.1. Transformaciones geométricas
 - 3.2. Transformaciones de intensidad
 - 3.3. Transformación del histograma
 - 3.4. Filtrado espacial
- 4. Preproceso: Transformaciones en el dominio de la frecuencia
 - 4.1. Transformada de Fourier y FFT
 - 4.2. Transformada de Fourier discreta
 - 4.3. Filtros
- 5. Transformaciones del color
 - 5.1. Modelos de color
 - 5.2. Filtrado de imágenes en color
 - 5.3. Espacio RGB
- 6. Segmentación
 - 6.1. Basada en el histograma
 - 6.2. Basada en los contornos
 - 6.3. Basada en las regiones
 - 6.4. Segmentación de imágenes en color
- 7. Identificación y Representación
 - 7.1. Etiquetado
 - 7.2. Descriptores de contorno
 - 7.3. Descriptores de regiones
 - 7.4. Descriptores de textura

Laboratorio:

No están disponibles. El profesor las suministra a los alumnos en las sesiones de laboratorio.



VI. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA de VALENCIA

Nombre asignatura: Visión Artificial.

Departamento: Ingeniería de Sistemas y Automática.

Plan de estudios: Intensificación de Inteligencia Artificial.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

<http://users.dsic.upv.es/asignaturas/facultad/iarf/rf/var.html>

Comentarios: El temario está dividido en tres niveles, bajo intermedio y alto. La evaluación se basa en la realización de un examen (70%), resolución de prácticas de laboratorio (20%) y un trabajo de curso (10%).

PROGRAMA

Teoría:

1. Introducción a la visión por computador.
 - 1.1. El campo de la visión por computador.
 - 1.2. Modelo general de un sistema de visión artificial.
 - 1.3. Aproximaciones a la visión desde el reconocimiento de formas.
 - 1.4. Ejemplos de sistemas y aplicaciones típicas de visión artificial.
 - 1.5. Revisión de las técnicas de adquisición y representación de la imagen.
2. Visión de bajo nivel.
 - 2.1. Operaciones de pixel: umbralización, mejora del contraste, etc.
 - 2.2. Operaciones sobre histogramas: igualación, especificación, etc.
 - 2.3. Operaciones de vecindad: filtros espaciales, detección de bordes, etc.
 - 2.4. Operaciones morfológicas.
3. Visión de nivel intermedio.
 - 3.1. Segmentación: umbrales, regiones, texturas, etc.
 - 3.2. Transformada de Hough.

- 3.3. Adelgazado.
- 3.4. Descriptores de forma.
- 3.5. Descriptores de textura.
4. Extracción y análisis de características.
 - 4.1. Definición de características. Propiedades.
 - 4.2. Tipos de características en visión.
 - 4.3. El espacio de representación y sus propiedades.
 - 4.4. Selección y reducción de características.
5. Reconocimiento de la imagen.
 - 5.1. Métodos estadísticos de reconocimiento de formas en visión.
 - 5.2. Métodos estructurales de reconocimiento de formas en visión.
 - 5.3. Clasificación de imágenes. Estimación de prestaciones.
 - 5.4. Interpretación de imágenes. Representaciones estructuradas.

Laboratorio:

Las imágenes con las que se trabaja en las sesiones de laboratorio son adquiridas por los alumnos en el mismo laboratorio.

VII. UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS

Nombre asignatura: Visión Artificial.

Departamento: Ingeniería de Sistemas y Automática.

Plan de estudios: Ingeniería Informática.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

<http://www.escet.urjc.es/~visiona/temario.html>



Comentarios: El acceso a los ficheros del temario es libre. El temario es muy extenso y completo. Las transparencias de los temas están muy sobrecargadas de texto y fórmulas. Es un ejemplo excelente de programación de la asignatura.

PROGRAMA

Teoría:

1. Panorámica de la Visión Artificial.
 - Aspectos generales sobre imágenes.
 - Sistemas de Visión Artificial (SVA).
 - Elementos de un SVA.
 - Clases fundamentales de procesado de imágenes.
 - Algoritmos y aplicaciones sobre imágenes digitales.
2. Preproceso (filtrado y realzado) de imágenes digitales.
 - Procesamiento básico de imágenes.
 - El histograma y su aplicación al realzado de imágenes.
 - Filtrado espacial.
 - Preproceso de imágenes mediante transformación del dominio.
 - Filtros morfológicos.
3. Segmentación.
 - Conceptos sobre segmentación.
 - Técnicas de segmentación: técnicas basadas en detección de bordes, segmentación basada en umbralización, segmentación basada en regiones y otros enfoques.
4. Características y representación de regiones y objetos.
 - Forma.
 - Color.
 - Textura.
5. Reconocimiento de patrones.
 - Componentes de un sistema de reconocimiento de patrones.
 - Reconocimiento estadístico de patrones.
 - Otros métodos de reconocimiento.
 - Interpretación de imágenes.
6. Fundamentos de Visión 3D.
 - Relación entre las coordenadas del mundo físico y de la imagen digital.
 - Calibración de la cámara.
 - Visión estereoscópica.
 - Problema de la correspondencia: restricción epipolar, configuración canónica y matriz fundamental.
 - Triangulación activa.
7. Visión dinámica.
 - Definiciones
 - Técnicas básicas de detección de movimiento
 - Flujo Óptico

- Seguimiento de objetos: filtro de Kalman, filtro de partículas, ...
- 8. Compresión de imágenes.
 - Introducción y definiciones sobre compresión
 - Técnicas de compresión sin pérdida
 - Técnicas de compresión con pérdida
 - Estándares de compresión de imágenes

VIII. ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

Nombre asignatura: Visión por Computador: Visión 3D.

Departamento: Ingeniería de Sistemas y Automática.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

<http://www.umh.es/asignaturas/fichasignatura.asp?asi=543&caca=2012&pestanja=info&are=9999&idioma=es>

Comentarios: Se puede ver con claridad el temario escogido así como la evaluación de la asignatura, la metodología de explicación, etc. Las prácticas se realizan con Matlab y OpenCV.

PROGRAMA

Teoría:

1. Visión por computador.
 - 1.1. Introducción a la visión por computador.
 - 1.2. Fundamentos de un sistema de adquisición de imágenes
2. Transformaciones y operaciones
 - 2.1. Transformaciones entre imágenes
 - 2.2. Operaciones
 - 2.3. Detección de bordes
 - 2.4. Segmentación
 - 2.5. Extracción de características
3. Introducción a la Visión 3D
 - 3.1. Problema de la tercera dimensión
 - 3.2. Modelo geométrico proyectivo del sistema de formación de imagen
 - 3.3. Calibración de una cámara
4. Geometría proyectiva
 - 4.1. Geometría Proyectiva
5. Par estereoscópico



- 5.1. Visión estereoscópica. Modelo Pin-Hole de una par estereoscópica
- 5.2. Geometría epipolar.
- 5.3. Matriz Fundamental
- 6. Reconstrucción 3D
 - 6.1. Reconstrucción 3D proyectiva
 - 6.2. Autocalibración

2.3.3 DISCUSIONES

Al igual que en las anteriores discusiones se recalca la necesidad de impartir conocimientos introductorios de la adquisición de imágenes así como de los dispositivos físicos que capturan las escenas. Tales como la Universidad Politécnica de Madrid (tema 2) o la Universidad Carlos III (tema 1).

La necesidad de pre-procesar una imagen antes de la extracción de características útiles, es una operación en muchas ocasiones primordial. De ese modo es necesario explicar estas técnicas antes de temas de segmentación como en los temarios de la Universidad Carlos III (tema 3), Universidad Pública de Navarra (tema 3) o la Universidad Miguel Hernández (tema 4).

Otra parte esencial en el temario es la segmentación de imágenes. Presente en todos los temarios con mayor o menor extensión.

La extracción de características está muy relacionada con la segmentación, sin embargo, es muy acertada la opción de crear un tema separado de segmentación y así poder hacer inca pié en éstas técnicas que ayudarán a elegir las estrategias de desarrollo de aplicaciones. El temario de la Universidad Pública de Navarra es un ejemplo.

De forma análoga que en los temarios de las universidades extranjeras es imprescindible incluir un tema acerca de la Visión 3D.

Si el temario no está demasiado sobrecargado se podrían añadir técnicas más avanzadas de segmentación para extraer características, pero siendo ésta una asignatura de carácter optativo y dado que los alumnos no tienen conocimientos previos de visión artificial es más adecuado reforzar las bases de la visión artificial.

2.4 LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

En un último marco está nuestra universidad. Los planes de estudios con los que tiene mayor afinidad la nueva asignatura son: Ingeniería Automática y Electrónica Industrial (2º Ciclo) e Ingeniería Técnica Industrial, especialidad en Electrónica Industrial.

Se ha estudiado el correspondiente temario de las asignaturas de visión artificial. Con ello se pretende incluir en la nueva asignatura los aspectos más adecuados y adaptar la asignatura con los nuevos modelos de enseñanza.

2.4.1 ASIGNATURAS ANTERIORES

I. INGENIERÍA AUTOMÁTICA Y ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

Nombre asignatura: Sistemas de Percepción.

Departamento: Ingeniería de Sistemas y Automática.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

[http://www.uva.es/consultas/planesestudios/guia?menu=basico&codigo_plan=290
&codigo_asignatura=44135&grupo=11&ano_academico=1213](http://www.uva.es/consultas/planesestudios/guia?menu=basico&codigo_plan=290&codigo_asignatura=44135&grupo=11&ano_academico=1213)

Comentarios: La parte de interés es la correspondiente al dept. de I.S.A.. Las sesiones de teoría y prácticas se imparten de forma simultánea no existiendo una separación de horaria entre ambas. La evaluación consta de un examen escrito y de la entrega de prácticas a lo largo del curso. Las prácticas se realizan con Matlab.

PROGRAMA

Teoría:

Tema 1. Introducción a los sistemas de inspección visual automática (S.I.V.A.).

Tema 2. Viabilidad de un SIVA.

Tema 3. Componentes de un SIVA.

Tema 4. Técnicas de binarización de imágenes.

Tema 5. Morfología matemática.



Tema 6. Técnicas de filtrado y acondicionamiento de las imágenes.

Tema 7. Detección de contornos.

Tema 8. Transformada de Hough.

Tema 9. Introducción al reconocimiento de formas.

Laboratorio:

Practica 1. Introducción a la Toolbox de Procesamiento de Imágenes de MATLAB.

Práctica 2. Binarización de imágenes.

Práctica 3. Etiquetado de imágenes.

Práctica 4. Erosión, dilatación, apertura y cierre de imágenes binarias.

Práctica 5. Ajuste de curvas mediante mínimos cuadrados. Aplicación a los procesos de inspección.

Práctica 5. Suavizado de imágenes.

Práctica 6. Detección de contornos.

Práctica 7. La transformada de Hough. Detección de rectas y circunferencias.

Práctica 8. Detección automática de formas simples: rectas, paralelogramos y cónicas planas.

II. INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL especialidad en ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

Nombre asignatura: Sistemas de Inspección Industrial.

Departamento: Ingeniería de Sistemas y Automática.

Duración: Cuatrimestral.

Dirección web:

http://www.uva.es/opencms/consultas/planesestudios/guia?menu=presentacion&codigo_plan=215&codigo_asignatura=16226&grupo=1&ano_academico=1213

Comentarios: No hay división entre teoría y prácticas. Las sesiones se desarrollan en el laboratorio. Cada sesión acaba con la realización de prácticas. La evaluación consta de un examen, de la entrega de prácticas y de la resolución de dos trabajos. Las prácticas se realizan con Matlab.

PROGRAMA

Teoría:

- Tema 1. Introducción a la Inspeccion Industrial. La Visión Artificial.
- Tema 2. Fundamentos de la Imagen Digital.
- Tema 3. Imágenes Binarias.
- Tema 4. Morfología. Dilatación y Erosión.
- Tema 5. Filtrado de imágenes. Filtros Lineales y no Lineales.
- Tema 6. Segmentación. Extracción de Contornos.
- Tema 7. Segmentación . Detección de Rectas con la transformada de Hough..
- Tema 8. Segmentación. Extracción de Regiones.
- Tema 9. Reconocimiento e Interpretación.
- Tema 10. Aplicaciones de Sistemas de Visión a la Inspección Industrial.

Laboratorio:

- Práctica 1. Inversión de la imagen.
- Práctica 2. Muestreo y cuantificación.
- Práctica 3. Binarización. Binarización Automática.
- Práctica 4. Morfología. Dilatación y Erosión.
- Práctica 5. Ecuilización.
- Práctica 5. Filtrado de imágenes. Filtros Lineales y no Lineales.
- Práctica 6. Extracción de Contornos.
- Práctica 7. Detección de Rectas con la transformada de Hough..
- Práctica 8. Segmentación. Extracción de Regiones.
- Práctica 9. Reconocimiento e Interpretación.



2.4.2 NUEVA ASIGNATURA PARA EL GRADO

La asignatura debe reunir las siguientes características:

Asignatura: Visión Artificial, código 42388

Carácter: Optativa

Créditos: 6 ECTS

Ciclo: 3er curso, 2º cuatrimestre

Requisitos previos: Ninguno

Competencias:

Competencias genéricas:

- CG1. Capacidad de análisis y síntesis.
- CG2. Capacidad de organización y planificación del tiempo.
- CG4. Capacidad de expresión escrita.
- CG5. Capacidad para aprender y trabajar de forma autónoma.
- CG6. Capacidad de resolución de problemas.
- CG7. Capacidad de razonamiento crítico/análisis lógico.
- CG8. Capacidad para aplicar los conocimientos a la práctica.
- CG9. Capacidad para trabajar en equipo de forma eficaz
- CG11. Capacidad para la creatividad y la innovación.
- GG12. Capacidad para la motivación por el logro y la mejora continua.

Competencias específicas:

- CE3. Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería
- CE12. Conocimientos sobre los fundamentos de automatismos y métodos de control.
- CE27. Conocimientos de principios y aplicaciones de los sistemas robotizados.
- COPT9. Conocimientos sobre los sistemas de Visión Artificial y su aplicación en automatización industrial.

Actividades presenciales: (2,4 ECTS)

Clases de aula de teoría: 0,8 ECTS / Método expositivo / CG1, CG7, CG10, CG15, CG7, CE12, CE27 y COPT9.

Clases de aula de problemas: 0,8 ECTS / Método expositivo / CG1, CG6, CG7, CG8, CG9, CG12, CE12, CE27 y COPT9.

Tutorías docentes: 0,12 ECTS / Aprendizaje orientado a proyectos / CG1, CG2, CE12, CE27 y COPT9.

Examen final: 0,08 ECTS / Controles individuales de evaluación y examen final / CG1, CG2, CG4, CG5, CE12, CE27 y COPT9.

Prácticas en laboratorio: 0,6 ECTS / Aprendizaje mediante experiencias. CG6, CG7, CG9, CG4, CG2, CG11, CG12, CG15, CE3, CE12, CE27 y COPT9.

Actividades no presenciales: (3,6 ECTS)

Trabajo en equipo. Realización de una memoria de prácticas: 1,2 ECTS / Estudio/trabajo / CG1, CG2, CG3, CG4, CG11, CG12, CG15, CE12, CE27 y COPT9.

Trabajo individual. Estudio y preparación de exámenes: 2,4 ECTS / Estudio / CG1, CG2, CG5, CE12, CE27 y COPT9.

No obstante se ha solicitado una modificación en el plan de la asignatura. La Universidad de Valladolid ha adoptando el criterio de que los grupos de las sesiones tipo A (prácticas de aula) se impartan en aulas de pizarra, sin ordenadores. Dada la naturaleza de la disciplina, Visión Artificial, las sesiones de problemas deben hacerse necesariamente con ordenador. Por ello, las sesiones de esta asignatura que inicialmente se programaron como problemas de aula (pensando que se dispondría de ordenadores), deben pasar a ser sesiones de tipo L (prácticas de laboratorio).



2.5 CONCLUSIONES

El objetivo de éste estudio no ha sido evaluar al completo la docencia en Visión Artificial, sino tener distintas muestras tanto en el país como en el extranjero para elegir el temario y la dinámica que mejor se adapte al nuevo Grado.

Para decidir el temario más adecuado de la asignatura, así como la dinámica general del curso, se ha tenido en cuenta la oferta de los diferentes cursos en visión artificial tanto en España como fuera de ella.

Del igual forma, los apuntes y la forma en la que se realizan las exposiciones y explicaciones del temario provienen de múltiples fuentes. A pesar de la múltiple naturaleza y dificultad de los cursos consultados, se han adecuado para encuadrarlo dentro de las características de nuestra asignatura.

En algunos cursos de visión artificial, el acceso al material está restringido. Sin embargo, se ha extraído siempre información útil acerca de la forma de evaluación, del soporte en el que se realizan las prácticas, de la elección del temario, de la dinámica de las clases,... que ha servido para diseñar la asignatura.

Capítulo 3:

SESIONES DE AULA



3.1 ASPECTOS GENERALES

El temario se ha diseñado para que en las sesiones de aula se impartan los conceptos más teóricos de la Visión Artificial.

En estas sesiones se estudiarán los elementos físicos que toman parte en la adquisición de escenas reales y en la formación de imágenes digitales. Con este estudio se pretende que los alumnos adquieran facultades para elegir adecuadamente los parámetros físicos a la hora de implantar un sistema de visión artificial. Asimismo este temario está ligado al desarrollo del temario de laboratorio.

En estos contenidos también se incluye un capítulo dedicado a la visión 3D. Es un capítulo muy teórico y otra razón para su inclusión en las sesiones es descongestionar el ya extenso temario de las sesiones de laboratorio.

De igual forma, las sesiones de aula servirán para que los alumnos expongan sus trabajos de teoría. Un trabajo realizado en grupo en el que deberán exponer una aplicación industrial de visión artificial, explicando su funcionamiento, los aspectos físicos que influyen y las posibles estrategias empleadas para conseguir los objetivos de la aplicación.

Las referencias utilizadas para conformar los contenidos de estos capítulos se refleja al final de cada uno. Se citan las fuentes más relevantes, habiendo realizado una amplia consulta de diversas fuentes y siendo inviable reflejar cada una de ellas.

3.2 ÍNDICE DE CONTENIDOS

A continuación se expone el índice completo y detallado de los contenidos que componen el temario de las sesiones de aula.

T1: Introducción a la Visión Artificial.

T2: Cámaras.

- 2.1.- Introducción.
 - 2.1.1.- Conceptos previos.
- 2.2.- Sensores CCD y CMOS.
- 2.3.- Cámaras color.
- 2.4.- Cámaras lineales.
- 2.5.- Cámaras digitales.
- 2.6.- En resumen.

T3: Ópticas.

- 3.1.- El ojo humano.
- 3.2.- Formación de imágenes.
- 3.3.- Lentes.
 - 3.3.1.- Distancia focal y enfoque.
 - 3.3.2.- Apertura.
- 3.4.- Tipos de ópticas.
- 3.5.- Filtros ópticos.
- 3.6.- En resumen.

T4: Iluminación.

- 4.1.-La luz.
- 4.2.- Características de las fuentes de iluminación.
- 4.3.- Fuentes de iluminación.
- 4.4.- Técnicas de iluminación.
- 4.5.- Conclusiones.



T5: Visión 3D.

- 5.1.- Geometría de formación de las imágenes.
- 5.2.- Calibración.
- 5.3.- Objetos a una distancia dada.
- 5.4.- Estéreo.
- 5.5.- Luz estructurada.
- 5.6.- Tiempo de vuelo.
- 5.7.- La visión 3D en los humanos.
- 5.8.- Conclusiones.

T6: Visión Industrial.

- 6.1.- Visión Artificial en la industria.
 - 6.1.1.- Ventajas de un SVA.
 - 6.1.2.- Elementos de un SVA.
 - 6.1.3.- Características de un SVA.
- 6.2.- Cámaras inteligentes.
 - 6.2.1.- ¿Qué es una cámara inteligente?
 - 6.2.2.- Estructura.
 - 6.2.3.- Características.
 - 6.2.4.- Clasificación.
- 6.3.- Ejemplos de cámaras inteligentes.

3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS

En este apartado se desarrollarán todos los capítulos del temario.

3.3.1 T1: Introducción a la Visión Artificial.

Es el primer tema que los alumnos estudiarán. En él se presenta la Visión Artificial, su definición, sus campos de aplicación y algunas aplicaciones actuales.

Dado que el desarrollo de ambos temarios, de aula y de laboratorio, está ligado, se incluyen aspectos de la formación de imágenes, cuantificación, digitalización, composición de los colores primarios, etc, que servirán para iniciar el temario de laboratorio.

También se expone el esquema general de un sistema de visión humano y artificial (ver *figuras 3.1 y 3.2*) que a grandes rasgos representan los ámbitos de estudio de este curso.



Figura 3.1 – Esquema visión humano.



Figura 3.2 – Esquema de un sistema de visión artificial (SVA).

3.3.2 T2: Cámaras.

En la captura de una escena real como se parecía en *figura 3.3*, el primer elemento físico que entra en juego es una cámara. Este dispositivo convierte las señales ópticas en eléctricas.



Figura 3.3 – Diferentes momentos de captura de escenas.

Como inicio se explican conceptos previos que intervienen en la captura de imágenes. Como son: resolución, sensibilidad, ruido, rango dinámico, tiempo de exposición, rango dinámico, entrelazado en escenas con movimiento, ganancia y offset, etc. Estos conceptos se han de tener en cuenta para la aplicación que se requiera desarrollar. Por ejemplo, si la aplicación se desarrolla en un ambiente al aire libre, es posible tener problemas de florecimiento (*blooming*). Efecto que produce un desbordamiento de carga en el sensor debido a la incidencia de una luz intensa (por ejemplo el sol) y afecta a los píxeles vecinos. Estos conceptos dan una idea de las limitaciones de los dispositivos para obtener una representación de la realidad.

A continuación se exponen los dos tipos de sensores que generan la conversión de señales ópticas en eléctricas. Estos dos tipos de sensores son CCD (*Charge Coupled Device*) y CMOS (*Complimentary Metal Oxide Semiconductor*). Se explica su funcionamiento y se hace una comparativa de las características de ambos sensores.

La mayoría de las aplicaciones industriales de visión industrial sólo utilizan cámaras monocromas ya que simplifican la cantidad de datos. No obstante aquí se hace referencia a las cámaras a color, muy importantes en algunas aplicaciones en un ámbito no industrial. La base de una cámara a color es similar a una monocroma, solo que en este caso se produce una triple captura correspondiente a cada uno de los canales de los 3 colores primarios (rojo, verde y azul). La captura se obtiene mediante la inserción de filtros ópticos que descomponen la luz en los tres planos.

La disposición de los elementos fotosensibles da origen a dos tipos de cámaras: cámaras matriciales y cámaras lineales. En las cámaras matriciales la disposición de los sensores es en forma bidimensional mientras que en las lineales están dispuestos en una línea. Dependiendo de las necesidades de la aplicación será conveniente elegir una u otra configuración.

Por último se exponen las cámaras digitales, que engloban todas las transformaciones hasta obtener una colección ordenada de valores que representan la realidad. Éste esquema es el que se representa en la *figura 3.4*.



Figura 3.4 – Esquema de una cámara digital.

En este tema se pretende que los alumnos comprendan el funcionamiento de las cámaras y los fundamentos de la formación de las imágenes.

Las fuentes principales consultadas para la elaboración de este capítulo han sido [2] y [21], pero también se ah extraído información de [3] y [6].

3.3.3 T3: Ópticas.

Antes de la cámara hay un dispositivo físico, las ópticas. Su función es la de orientar los haces de luz hacia la superficie fotosensible. Como introducción cabe explicar los rasgos generales del ojo humano, representado en *figura 3.5*.

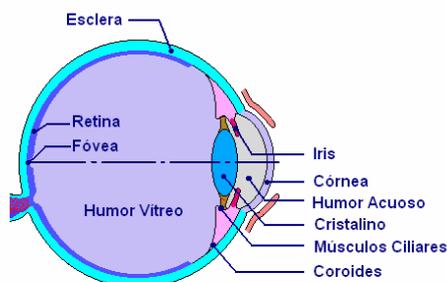


Figura 3.5 – Esquema del ojo humano.

Después de la introducción se explica la geometría de formación de imágenes. Los modelos de la cámara oscura (Alhacen, matemático árabe, año 965) y el modelo general “*pin hole*”.

A continuación se detallan los aspectos de las lentes. En primer lugar los conceptos de enfoque y distancia focal, así como las aberraciones (aberraciones cromáticas y esféricas) y distorsiones (distorsiones geométricas) asociadas que se producen en la imagen.

En segundo lugar otro aspecto de las ópticas es la apertura, que regula la luminosidad. Además influye en la profundidad de campo.

Se enumeran los tipos de ópticas. Ópticas zoom (digital/óptico), ópticas macro, ópticas gran angular, ópticas tele céntricas y ópticas peri céntricas de inspección industrial que proporcionan vistas simultáneas del contorno de un objeto.

Otros dispositivos que permiten resaltar o mejorar ciertas características de una forma sencilla son los filtros ópticos. Los filtros cromáticos seleccionan un canal cromático de forma que hacen resaltar características de la escena y facilitan la segmentación o la extracción de características. Los filtros pasa banda rechazan (o permiten) el paso de una determinada frecuencia.

Los filtros polarizadores bloquean las componentes oscilatorias de la luz que no tengan la misma dirección que el filtro (ver *figura 3.6*). Este tipo de filtros evitan la apariencia de brillos en los objetos y también se pueden emplear para proyectar luz polarizada.

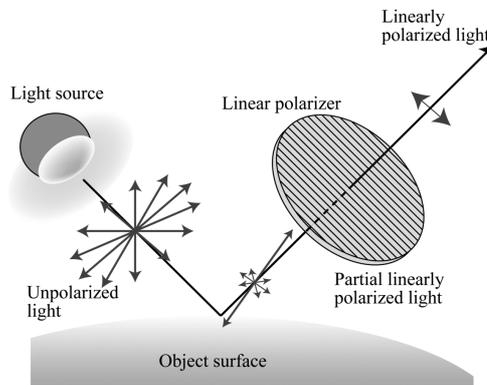


Figura 3.6 – Esquema de filtro polarizador.

En conclusión, el tema explica los fundamentos de la geometría de formación de imágenes y los parámetros que modifican el enfoque. Se estudian los tipos de ópticas y sus cualidades que permiten obtener nuevas estrategias para desarrollar aplicaciones de visión artificial.

La información empleada proviene principalmente de [3], [4] y [16].

3.3.4 T4: Iluminación.

La mayoría de las aplicaciones industriales se desarrollan en ambientes aislados donde se pueden modificar las características físicas. La iluminación es una de éstas características y juega un papel muy importante en la visión artificial.

Como introducción se explican las características de la luz, el espectro, la reflexión y tipos de reflexión, la intensidad, la radiancia, etc.

A continuación se explican las características de las fuentes de iluminación. La distribución espectral (conjunto de longitudes de onda que emite la fuente de luz), geometría (según el patrón de radiación que se emplee), estructura (disposición de la región que se ilumina o no), estabilidad y duración, naturaleza continua/estroboscopia, potencia luminosa, rendimiento y robustez electromecánica.

Se enuncian seguidamente los tipos de fuentes de iluminación (lámparas incandescentes, tubos fluorescentes, fibra óptica, LEDs, lámparas de Xenon y láser) y sus características más relevantes. Finalmente se concluye con un cuadro resumen de las fuentes con las ventajas e inconvenientes.

Aparte de utilizar la fuente de iluminación más adecuada para la aplicación es preciso adoptar una adecuada técnica de iluminación. Se explican las técnicas de iluminación: iluminación de campo oscuro/claro, retro iluminación, iluminación direccional/difusa (ver ejemplo en *figura 3.7*), iluminación oblicua/coaxial, iluminación estructurada.

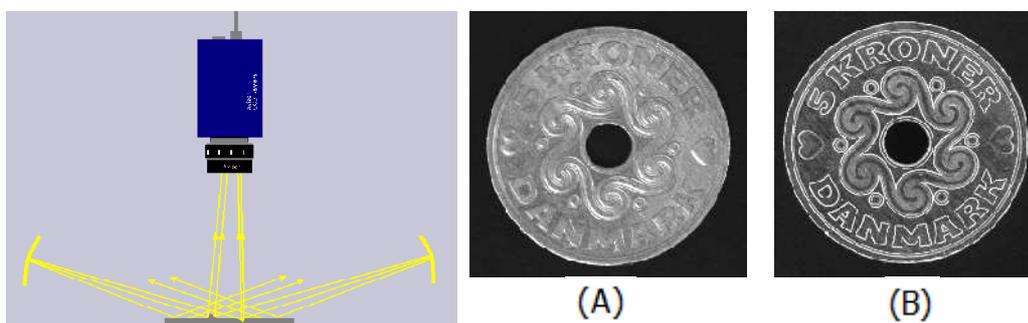


Figura 3.7 – Ejemplo iluminación difusa.

(A) sin iluminación difusa. (B) con iluminación difusa.

El objetivo de este tema es dar a conocer los distintos tipos de fuentes de iluminación con sus características, así como explicar las técnicas de iluminación y sus efectos. Las diferentes fuentes y técnicas de iluminación sirven como estrategias para la detección de características de interés que permitan el funcionamiento de la aplicación.

Las principal fuente consultada ha sido [3], pero se ha obtenido diversa información de [2], [4] y de [11].

3.3.5 T5: Visión 3D.

La visión tridimensional ofrece una gran variedad de aplicaciones que la visión 2D no puede realizar. En este capítulo se estudiarán los fundamentos de la visión 3D.

En primer lugar se hace un estudio de la geometría de formación de imágenes, estudiando sus fundamentos matemáticos. Una vez comprendida cómo se forman las imágenes, está el problema de la calibración. Se estudiarán las bases de la calibración de cámaras y el método matemático para hallar la posición de la cámara que enfoque el objeto correctamente.

En la visión 3D se parte de la adquisición de dos imágenes desde puntos diferentes. Para obtener la posición de un punto en el espacio es preciso resolver un problema de triangulación. También se puede solucionar mediante correlación de entornos, por correspondencia (*matching*) o mediante geometría epipolar.

La captura de las imágenes puede ser mediante dos cámaras, o una cámara con movimiento o varias cámaras. Cuantos más pares de imágenes de distintas posiciones tengamos más información acerca del objeto podremos obtener.

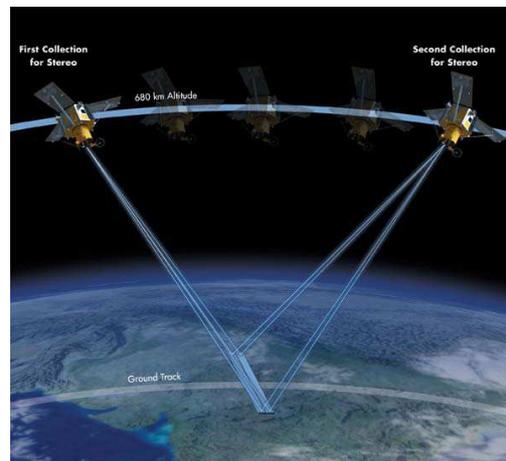


Figura 3.8 – Cartografía. *Ikonos Stereo Satellite Imagery*.

Las aplicaciones de visión 3D son muy variadas y se citan algunos ejemplos de aplicaciones actuales.

En ambientes donde la iluminación es un parámetro que se puede manipular existe un método para extraer información tridimensional, luz estructurada (ver *figura 3.9*). Este método consiste en la proyección de la luz con un determinado patrón geométrico. Al proyectar el patrón sobre la superficie, la geometría se ve modificada por el relieve del objeto y mediante esta deformación se puede interpretar la forma que tiene el objeto.

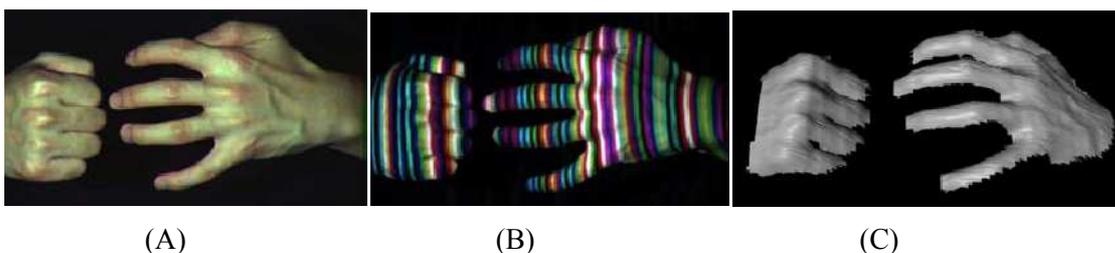


Figura 3.9 – Ejemplo de reconstrucción 3D mediante proyección de luz estructurada. (A)Imagen real. (B)Imagen con luz estructurada. (C)Reconstrucción 3D.

Otro tipo de estrategia para obtener información tridimensional es el tiempo de vuelo, ejemplo de aplicación en *figura 3.10*. Consiste en medir el tiempo que transcurre al enviar un pulso láser al objeto. Mediante el barrido del objeto con múltiples pulsos se puede construir un modelo tridimensional. Este método es idóneo para grandes superficies o en ambientes al aire libre.



Figura 3.10 – Ejemplo de reconstrucción 3D de un túnel mediante tiempo de vuelo.

Por último se presenta el caso particular de la visión tridimensional en los humanos. En este caso la información tridimensional se obtiene de una forma más compleja utilizando relaciones de enfoque, movimiento relativo, gradientes de textura, sombras, tamaño relativo de los objetos, etc.

En conclusión, en este capítulo se estudian los fundamentos de la visión 3D y los métodos de resolución del problema trigonométrico. Así como las diferentes técnicas de reconstrucción 3D y múltiples aplicaciones de éstas. Con todo ello los alumnos dispondrán de conocimientos base para comprender los fundamentos de la visión 3D.

La información obtenida proviene de [1], [6], se han obtenido algunos conceptos de [23] así como de [24] y de [27].

3.3.6 T6: Visión industrial.

En este capítulo se hace un análisis de los sistemas de visión artificial (SVA) en la industria. Se estudian las áreas de implantación y las ventajas que conllevan en la producción, en la calidad, la precisión, la rapidez, etc.

Se realiza un resumen que engloba todos los elementos físicos que intervienen y se exponen las características que debe reunir un SVA.

En un último apartado se presentan las cámaras inteligentes. Se exponen sus principales características y su clasificación en función del grado de integración.

Por último se presentan dos ejemplos de cámaras inteligentes: SCS1 DATASENSOR y 3D SC3DTM con visión 3D. Se explican algunos detalles de su programación y de sus funcionalidades.

En resumen, el capítulo sirve de introducción a la implantación de un SVA en la industria. También se da a conocer el dispositivo compacto que se utiliza en múltiples aplicaciones.

La obtención de la información relativa a este tema proviene fundamentalmente de [20] y [27].



3.4 CONCLUSIONES

Mediante este temario se aprovechan las sesiones de aula en las que los alumnos no disponen de un ordenador. En estas sesiones se imparten los aspectos más teóricos de la Visión Artificial. Éstos conceptos son puramente teóricos, en los que los alumnos no precisan de un ordenador para practicar y ensayar la materia explicada.

En estos capítulos se han descrito los elementos físicos que componen un sistema de visión artificial así como sus características, los fundamentos de la visión 3D con ejemplos de aplicaciones y por último se ha hecho un resumen de la implicación de los sistemas de visión artificial en la industria.

Con todo ello, los alumnos serán capaces de reconocer los elementos necesarios en una aplicación de visión artificial, de elegir los elementos más idóneos para una aplicación determinada y tendrán nuevas estrategias de análisis.

Capítulo 4:

SESIONES DE LABORATORIO



4.1 ASPECTOS GENERALES

El marcado carácter práctico de la asignatura hace que sea este el eje central de la asignatura y del mismo modo del presente proyecto de fin de carrera. En estos capítulos se explicarán los procesos de tratamiento de imágenes y los métodos de extracción de características.

Los capítulos desarrollarán desde las transformaciones básicas entre píxeles hasta los métodos de extracción de características. Los alumnos que cursan esta asignatura tienen conocimientos de programación, pero ninguno de tratamiento matemático de imágenes digitales. Por ello el temario está diseñado para comenzar desde los fundamentos del tratamiento de imágenes e ir desarrollando los contenidos partiendo de lo aprendido en anteriores sesiones.

Todos los procesos y métodos están explicados con ejemplos y resultados finales para facilitar la comprensión. Asimismo, en la elaboración de los temas se ha buscado que además de servir como material de apoyo en las explicaciones del profesor, sean una herramienta de estudio autónomo por parte del alumno.

Las referencias utilizadas para conformar los contenidos de estos capítulos se refleja al final de cada uno. Se citan las fuentes más relevantes, habiendo realizado una amplia consulta de diversas fuentes y siendo inviable reflejar cada una de ellas.

4.2 PROGRAMACIÓN TEMPORAL

Los contenidos de los capítulos están dispuestos de forma que sigan el proceso general de tratamiento de una imagen. Es decir, en primera instancia la imagen se coloca en la posición que facilite su tratamiento (giros, traslaciones, escalado). A continuación se debe tratar el ruido si lo hubiera (filtrado).

Una vez que la calidad de la información es buena y tenemos el objeto de interés en una orientación adecuada se procede a la extracción de características.

El índice completo y detallado de los contenidos que componen el temario de las sesiones de laboratorio se expone a continuación:

P1: Introducción a Matlab.

- 1.1.- Introducción básica al entorno de MatLab.
- 1.2.- Ejemplo: binarización de imágenes.
- 1.3.- Funciones y scripts en MatLab.
- 1.4.- Ejemplo de programación.

P2: Transformaciones Geométricas.

- 2.1.- ¿Qué es procesar una imagen?
- 2.2.- Relaciones entre píxeles.
- 2.3.- Transformaciones geométricas.
- 2.4.- Interpolación.
- 2.5.- Algunas funciones de MatLab.
- 2.6.- Conclusiones.

P3: Filtrado de Imágenes Digitales.

- 3.1.- Introducción.
- 3.2.- El ruido.



- 3.3.- Filtros lineales.
 - 3.3.1.- Convolución.
 - 3.3.2.- Filtro de la media.
 - 3.3.3.- Filtro gaussiano.
- 3.4.- Filtros no lineales.
 - 3.4.1.- Filtro de la mediana
 - 3.4.2.- Filtros del máximo (mínimo).
 - 3.4.3.- Otros filtros.
- 3.5.- Filtros en el dominio de la frecuencia.
- 3.6.- Filtros detectores de contornos.
 - 3.6.1.- Introducción.
 - 3.6.2.- Técnicas basadas en la primera derivada.
 - 3.6.3.- Técnicas basadas en la segunda derivada.
 - 3.6.4.- Método de Canny.
- 3.7.- Algunas funciones en MatLab.
- 3.8.- Conclusiones.

P4: Morfología.

- 4.1.- Introducción.
- 4.2.- Conceptos previos.
- 4.3.- Operaciones básicas sobre conjuntos.
- 4.4.- Operaciones morfológicas.
- 4.5.- Morfología en escala de grises.
- 4.6.- Aplicaciones.
- 4.7.- Ejemplos y programación en MatLab.

P5: Extracción de Características.

- 5.1.- Introducción.
- 5.2.- Descriptores geométricos.
 - 5.2.1.- Tamaño o área.
 - 5.2.2.- Circularidad.
 - 5.2.3.- Rectangularidad.

- 5.2.4.- Alargamiento.
- 5.2.5.- Centro de gravedad y momentos geométricos.
- 5.2.6.- Ejes principales de inercia (orientación).
- 5.2.7.- Número de agujeros.
- 5.3.- Etiquetado.
- 5.4.- Número de Euler.
- 5.5.- Seguidores de contorno.
- 5.6.- Descriptores de contornos.
 - 5.6.1.- Códigos cadena.
 - 5.6.2.- Otros descriptores.
- 5.7.- Conclusiones.

P6: Otras Herramientas de Segmentación.

- 6.1.- Introducción.
- 6.2.- Detección de rectas y círculos.
 - 6.2.1.- T. de Hough para rectas.
 - 6.2.2.- T. de Hough para círculos.
 - 6.2.3.- Ajuste por mínimos cuadrados.
 - 6.2.4.- RANSAC.
- 6.3.- Detección de esquinas.
 - 6.3.1.- Detector de Harris & Stephens.
 - 6.3.2.- Otros detectores.
- 6.4.- *Template Matching*.
- 6.5.- Crecimiento de regiones.
- 6.6.- Conclusiones.



4.3 PLANTEAMIENTO GENERAL DE LAS SESIONES

En estas sesiones, a diferencia de las sesiones de teoría, los alumnos disponen de ordenadores y es en ellas es donde se realizarán las prácticas. Las sesiones se pueden dividir en dos partes: la primera parte dedicada a la exposición del temario por el profesor y la segunda parte dedicada a trabajo autónomo del alumno resolviendo los ejercicios.

La dinámica de las sesiones es esencialmente práctica, los ejercicios están orientados para que los alumnos entrenen los métodos y conceptos explicados en la sesión. Se han planteado de este modo para facilitar el aprendizaje, de este modo a los alumnos se les explicará un método, su definición, para qué sirve, cual es la función del método y al final de la clase implementarán el método para resolver la práctica.

La distribución del tiempo no será igual a lo largo del curso, en las primeras sesiones el tiempo dedicado a trabajo autónomo será menor que al final, ya que las prácticas finales tienen mayor dificultad y engloban todos los conocimientos adquiridos en sesiones anteriores. Por tanto la planificación tanto del temario por sesión como del tiempo dedicado será gestionado por el profesor de la asignatura.

4.4 DESARROLLO DE LOS CONTENIDOS

En la elaboración de los temas se ha buscado que sean claros y fáciles de entender. Se han completado con ejemplos gráficos que faciliten el aprendizaje. Las referencias utilizadas para conferir el temario son muy amplias y diversas. Se exponen al final de cada tema las de mayor relevancia. A continuación se expondrán en detalle los contenidos de cada tema de laboratorio:

4.4.1 P1: Introducción a MatLab.

Este tema pretende hacer una primera toma de contacto con el entorno de MatLab y algunos aspectos de MatLab acerca del tratamiento de imágenes. El desarrollo de los apartados del tema es el siguiente:

1. Introducción básica al entorno de MatLab.

Se presenta el entorno de la *Toolbox Image Processing de MatLab* para el tratamiento de imágenes. También se explican los aspectos relativos a la representación de una imagen (planos RGB, imágenes en escala de grises, planos HSI, formatos de los archivos de imagen).

Por último se muestran los primeros comandos, almacenar una imagen en una matriz, mostrar por pantalla una imagen, visualizar el histograma, etc. También algunas operaciones sencillas de suma/resta de imágenes, conversión RGB a escala de grises, etc.

2. Ejemplo: Binarización de imágenes.

Aquí iniciamos el tratamiento digital de imágenes mediante la explicación de una transformación básica de segmentación, la binarización (ver *figura 4.1*). Con esta explicación los alumnos poseerán la primera herramienta en la extracción de características. Así mismo servirá para practicar la programación en MatLab.

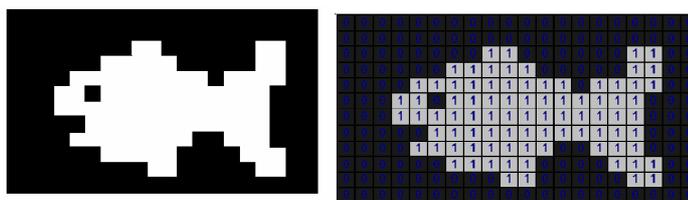


Figura 4.1 – Imagen binaria (blanco/negro) y la representación numérica de los píxeles.

3. Funciones y *scripts* en MAtLab.

Se explicará cómo declarar funciones y crear *scripts* para procesar las imágenes. También los diferentes operadores, bucles y ramificaciones con sus respectivas declaraciones. La programación no es muy distinta del código C.

4. Ejemplo de programación.

Para terminar el tema se expone como ejemplo la programación de una función que realice la binarización de una imagen en escala de grises. También un ejemplo de ejecución y el código del programa con comentarios como ejemplo de “buen estilo” de programación.

En resumen, este tema pretende introducir la forma en la que la información es almacenada y cómo MatLab la interpreta. También se aprovecha para iniciar a los alumnos en la programación sobre MatLab mediante la binarización.

A partir de aquí los alumnos conocerán cómo es la información que representa una imagen, podrán empezar a programar *scripts* y funciones y disponen de la binarización como herramienta en sus próximas prácticas.

La información recopilada para realizar este tema proviene de [5] y de [10]. También se han extraído información de [8].

4.4.2 P2: Transformaciones geométricas.

Una vez adquirida la imagen, en ocasiones cambiar la disposición de un objeto de la escena facilita la extracción de características. Con este capítulo los alumnos estudiarán las transformaciones geométricas más importantes.

Los apartados de este tema son:

Proyecto Fin de Carrera

65

1. ¿Qué es procesar?

Procesar una imagen es necesario, la información no se puede extraer sin aplicar métodos que resalten las características buscadas o las aislen del resto.

2. Transformaciones geométricas.

Las principales transformaciones geométricas son: rotación, escalado y traslación. Con ellas se cubren las necesidades para adaptar la información a la necesidad de la aplicación. Se explican las tres transformaciones y sus fundamentos matemáticos.

3. Interpolación.

Al realizar un escalado o una rotación, la posición de los píxeles se ve alterada. Las coordenadas de la nueva posición que toman los píxeles después de la transformación puede no coincidir con una posición de la retícula de salida. Este hecho hace necesario la aplicación de un método que reordene los píxeles y sus nuevas posiciones. Este método es la interpolación. Se explican los tres métodos de interpolación más importantes: interpolación al vecino más próximo, interpolación bilineal e interpolación bicúbica. Los diferentes resultados se pueden ver en *figura 4.2*.



Figura 4.2 – Ejemplo de interpolación mediante varios métodos.

4. Algunas funciones de MatLab.

Para terminar el capítulo se enuncian las funciones propias de MatLab relativas a las transformaciones geométricas con ejemplos de ejecución.



Figura 4.3 – Ejemplo del efecto de una rotación sucesiva.

En conclusión, con este tema los alumnos serán capaces de realizar traslaciones, rotaciones y escalados y de ser conscientes de las pérdidas de información que ello conlleva.

Las principales fuentes consultadas para la elaboración de este tema han sido [3] y [22]. Además e ha extraído información de [8] y de [15].

4.4.3 P3: Filtrado de imágenes digitales.

Otra etapa en el procesamiento es la de filtrar. El filtrado facilita el procesamiento adecuando la información de manera que sea útil. Los apartados de este tema son:

1. Introducción.

Las principales funciones del filtrado son: eliminar ruido, suavizar, realzar y detectar bordes. Hay dos dominios en los que se aplica el filtrado: el dominio espacial y el dominio frecuencial.

2. El ruido.

Se define el ruido, de dónde puede provenir así como los tipos de ruido más comunes. Los tipos de ruido más comunes son: Gaussiano, uniforme, impulsional (ver ejemplo en *figura 4.4*) y periódico.

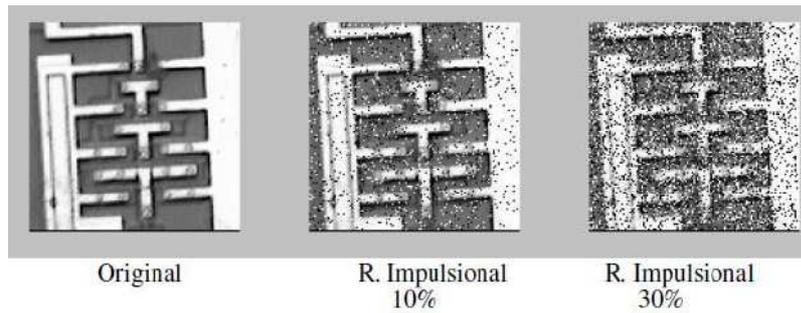


Figura 4.4 – Ejemplo de ruido impulsional.

3. Filtros lineales.

Antes de explicar los filtros se introduce el concepto de convolución que servirá como punto de partida para explicar los siguientes filtros. Se explican las máscaras y se expone un ejemplo gráfico del funcionamiento de una convolución. En la figura 4.5 se puede ver una iteración del método.

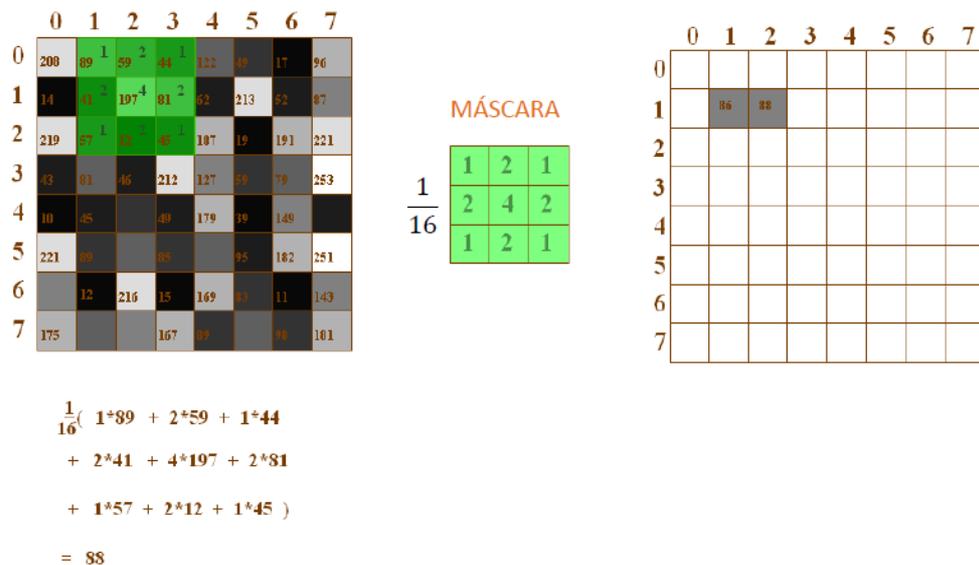


Figura 4.5 – Ejemplo de convolución.

Estos ejemplos gráficos de funcionamiento se repetirán a lo largo de todo el temario. De forma muy intuitiva facilita la comprensión.

Después de la explicación de la convolución y de las máscaras se expone el filtro de la media y el filtro Gaussiano. Complementando sus explicaciones con ejemplos gráficos del funcionamiento y ejemplos de aplicaciones.

4. Filtros no lineales.

Del mismo modo que en el apartado anterior se explican algunos filtros no lineales, el filtro de la mediana y del máximo/mínimo.

5. Filtros en el dominio de la frecuencia.

Aunque los filtros en el dominio de la frecuencia no son muy utilizados en aplicaciones industriales, se ha creído conveniente mencionarlos y exponer algún ejemplo.

6. Filtros detectores de contornos.

Otra función de los filtros es la extracción de contornos. En este apartado se explican las técnicas basadas en la primera derivada (el gradiente, operador Sobel, operador Roberts, operador Prewitt).

A continuación se explican las basadas en la segunda derivada (Laplacina, laplacina gaussiana y la diferencia gaussiana).

Para finalizar, se explica el método de Canny para la extracción de contornos y ejemplos comparativos con otros métodos.



Figura 4.6 – Ejemplo de filtro de Canny para extraer contornos.

7. Algunas funciones en Matlab.

En este apartado se exponen las funciones específicas de MatLab para introducir ruido en una imagen, para crear filtros y las funciones que implementan los filtros extractores de contornos.

Con este tema los alumnos han estudiado el ruido y sus efectos. Además ahora conocerán los filtros más idóneos para eliminar o reducir los distintos tipos de ruido. Por último también dispondrán de una nueva herramienta que es la detección de contornos mediante filtros.

La información recopilada para desarrollar el tema proviene de [23] y [26] asimismo se han obtenido información de ciertos puntos de [3] y de [8].

4.4.4 P4: Morfología.

Este tema tiene una gran importancia, también se desarrollará en varias sesiones. Los contenidos permiten analizar las características de interés en la imagen. Los apartados de este tema son:

1. Introducción.

La morfología simplifica las imágenes conservando las principales características de forma de los objetos.

2. Conceptos previos.

Se explican los conceptos de: píxeles vecinos (vecindad 4/8) como se observa en *figura 4.7*, píxeles adyacentes, conectividad entre píxeles, distancia (euclídea y Manhatan,), etc. Con estas relaciones básicas se comprenderán mejor los métodos que se explicarán en capítulos posteriores.

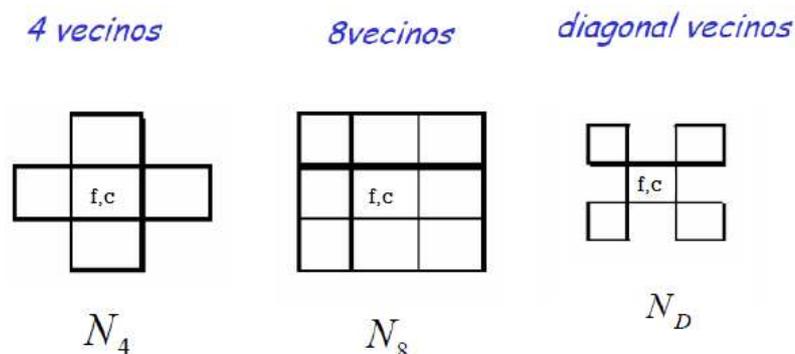


Figura 4.7 – Relaciones de vecindad entre píxeles.

3. Operaciones básicas sobre conjuntos.

Las imágenes se pueden considerar formadas por conjuntos (regiones) de píxeles. Por ello se puede aplicar la Teoría de Conjuntos. Se explican algunas operaciones de conjuntos con ejemplos. Operaciones como: imagen inversa, unión/intersección, traslación mediante vector, reflexión, etc.

Con estas operaciones de conjuntos los alumnos serán capaces de hacer operaciones sobre regiones de la imagen y segmentar las imágenes de interés del resto de la información.

4. Operaciones morfológicas.

En primer lugar se explica el concepto de elemento estructural. A continuación se explican las operaciones morfológicas (dilatación/erosión, cierre/apertura) que se aplican en imágenes binarias junto con sus propiedades y ejemplos aplicados. Todas las operaciones tienen ejemplos que muestran paso a paso el progreso del método, tal y como se muestra en *figura 4.8*. Estos ejemplos hacen más fácil comprender lo que el operador hace sobre la imagen.

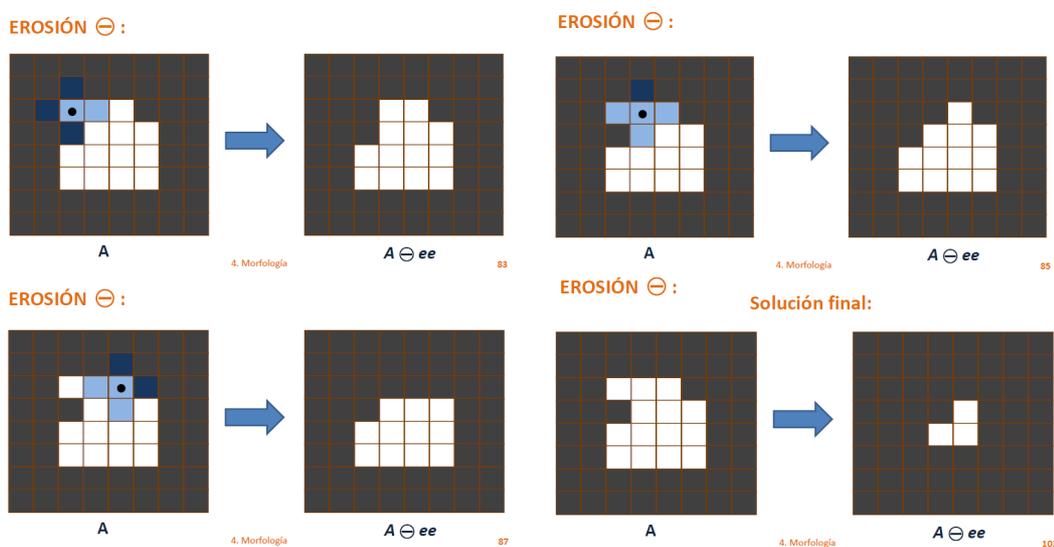


Figura 4.8 – Ejemplo paso a paso de una erosión binaria.

5. Morfología en escala de grises.

Aquí se explica el caso particular de la dilatación y erosión en escala de grises. El método es similar y también se incluyen ejemplos resueltos paso a paso (ver *figura 4.9*).

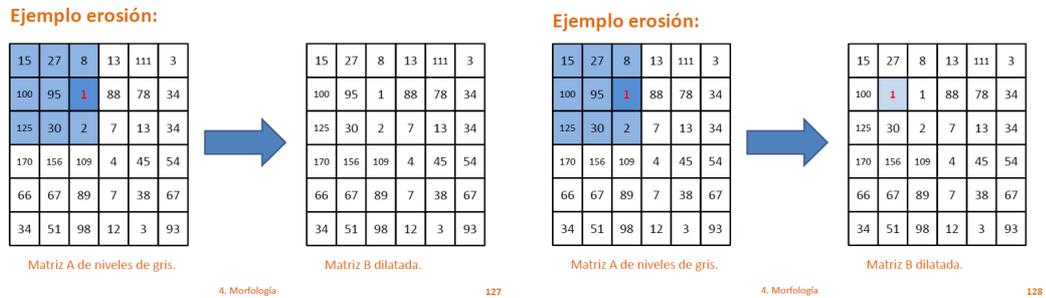


Figura 4.9 – Ejemplo paso a paso de una erosión en escala de grises.

6. Aplicaciones.

En este capítulo se muestran las posibles utilidades de las operaciones explicadas. Algunas aplicaciones son: extracción de la frontera, rellenado de regiones, transformada Hit-or-Miss (ejemplo en *figura 4.10*), adelgazamiento de regiones, engrosamiento y esqueletización. Todas desarrolladas mediante ejemplos resueltos paso a paso.

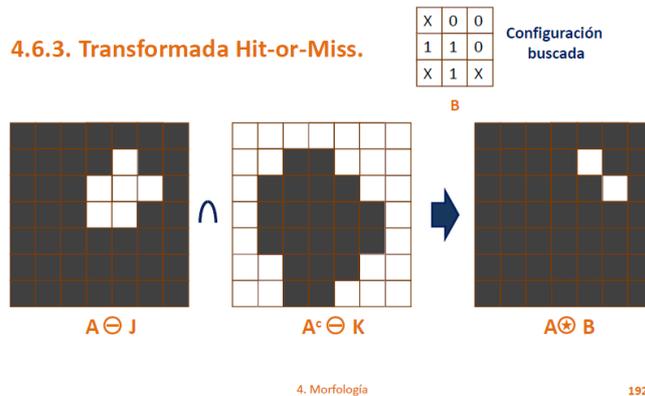


Figura 4.10 – Ejemplo paso a paso de la transformada Hit-or-Miss.

7. Ejemplos y programación en MatLab.

Por último, se explican los comandos de MatLab relativos a la morfología. Creación y definición del elemento estructural, ejemplos de ejecución de erosiones y dilataciones, también ejemplos de cierres, extracciones de contorno, etc. También se

exponen algunas funciones especiales de morfología como ‘bwmorph’ o ‘bwareaopen’ con ejemplos.

Este tema provee de nuevas herramientas para segmentar las regiones de interés de la imagen y para adecuarlas a la posterior extracción de características útiles.

En este tema la información proviene de las fuentes [13] y de [22]. Aunque se han obtenido también ejemplos y material de [3].

4.4.5 P5: Extracción de características.

En este punto del procesado la imagen contiene solo el objeto de interés y además la imagen es binaria. Es el tema de mayor relevancia dentro del temario de laboratorio. En él se explican las diferentes técnicas de extracción de características. Los apartados de este capítulo son:

1. Descriptores geométricos.

Se explican los principales descriptores que caracterizan a un objeto. Algunos de ellos son: área, circularidad, rectangularidad, alargamiento, centro de gravedad y momentos geométricos, eje principales de inercia que determinan la orientación (ver *figura 4.11*) y número de agujeros.

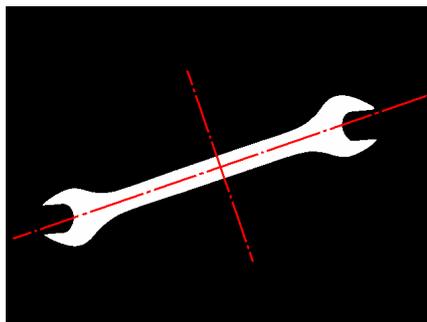


Figura 4.11 – Ejes principales de inercia de una llave fija.

2. Etiquetado.

Cuando la imagen contiene varios objetos, es conveniente hacer un etiquetado para estudiar cada objeto de forma individual. En este punto se explica el funcionamiento

del método iterativo que lo implementa mediante un ejemplo resuelto paso a paso. Al final del punto se presenta otra utilidad del etiquetado, el número de agujeros de un objeto. También se explica la función específica en MATLab para el etiquetado y un ejemplo.

3. Número de Euler.

Este número provee de una característica más para describir objetos. Además de explicar su definición se explica el número de Euler incremental que aporta una herramienta más de extracción de características. En la *figura 4.12* se puede ver un ejemplo del número de Euler incremental.

Ejemplo:

$\text{numEuler}(I_1) = 2$
 $\text{numEuler}(I_2) = -2$
 $\text{numEuler}(I_3) = -3$
 $\text{numEuler}(I_4) = -3$
 $\text{numEuler}(I_5) = 0$

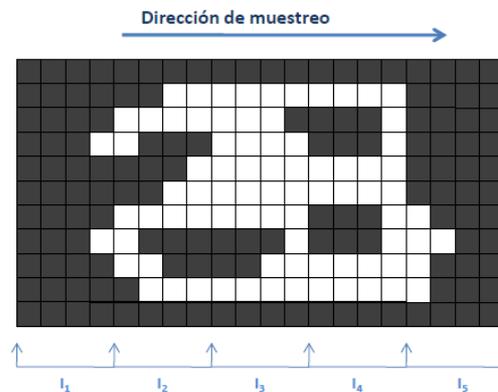


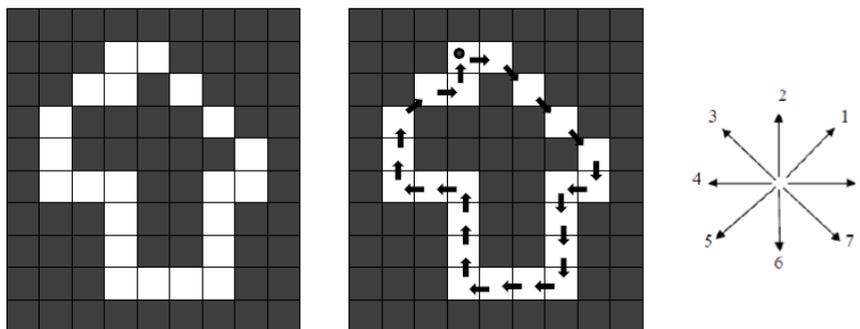
Figura 4.12 – Ejemplo de número de Euler incremental.

4. Seguidores de contorno.

En este caso se explica el funcionamiento del método de la tortuga de Papert. Este método identifica el contorno de un objeto en una imagen binaria. Es otra herramienta para obtener de forma sencilla e intuitiva el contorno.

5. Descriptores de contornos.

Otra estrategia para caracterizar un objeto es a través de su frontera. En este punto se explican los descriptores más importantes como: código cadena (ejemplo en *figura 4.13*), perímetro, diámetro, rectángulo base, excentricidad y compacidad.



Código cadena: 0777646665552224422102

5. Extracción de características

85

Figura 4.13 – Ejemplo de código de cadena.

A partir de este tema los alumnos tendrán las capacidades para desarrollar una aplicación. Dispondrán de muchas herramientas para poder decidir qué estrategia utilizar para la solución.

Las principales fuentes consultadas en este tema han provenido de [3] y [10] aunque también se ha obtenido diversa información de [6], [8] y [21].

4.4.6 P6: Otras técnicas de segmentación.

El objetivo en este tema es enseñar nuevas técnicas que permitan extraer más características de una imagen. Se trata de técnicas orientadas a buscar ciertas estructuras en la escena de modo que agilicen la extracción de características. Los apartados de este capítulo son:

1. Detección de rectas y círculos.

Un primer método que se explica es la transformada de Hough. Con esta transformada se pueden buscar rectas y circunferencias en la imagen (ver *figura 4.14*). Es una herramienta muy útil en determinadas ocasiones, pero su coste computacional es alto. Se explica también el método de ajuste por mínimos cuadrados para circunferencias. Este método obtiene el centro y radio de la circunferencia que mejor se ajusta a los puntos estudiados. Finalmente se explica el método RANSAC para la detección de rectas y circunferencias.

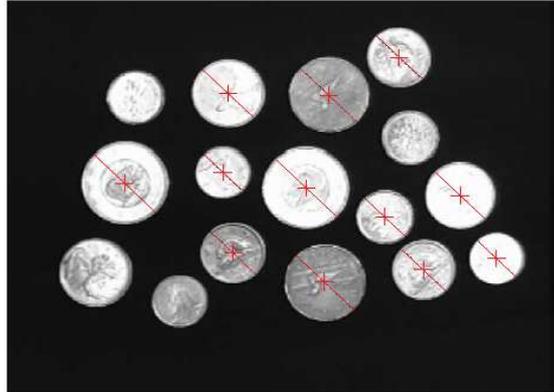


Figura 4.14 – Centros y diámetros detectados en una imagen.

2. Detección de esquinas.

Otra estructura que resulta útil identificar son las esquinas de un objeto. En primer lugar se explica qué es una esquina y cuál es su definición matemática. A continuación se presenta el método de Harris&Stephens. Se define, se explica su funcionamiento, se presentan algunos ejemplos y se explica la función correspondiente de MatLab que lo implementa. Al final se nombran otros métodos de detección de esquinas como: Movarec, Susan, o Föstner.

3. Template Matching.

Esta técnica consiste en la búsqueda de correspondencias de una plantilla con una posición de la imagen. Se explica su funcionamiento y se exponen ejemplos. En la *figura 4.15* se puede ver un ejemplo.

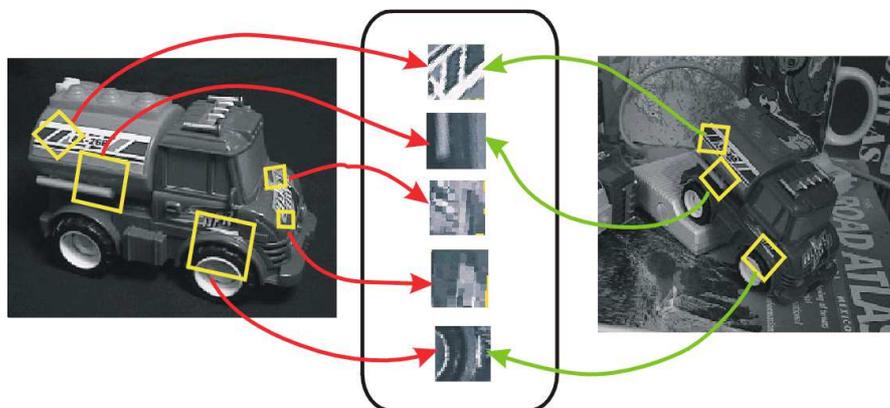


Figura 4.15 – Ejemplo de aplicación de *Template Matching*.



4. Crecimiento de regiones.

Por último se expondrá esta última técnica de segmentación. A partir de un punto (semilla) se hace crecer el punto partiendo de la similitud de los píxeles vecinos con el punto semilla. De este modo la región aumentará mientras sus vecinos sean similares a la semilla.

La información recopilada proviene esencialmente de [1], [4] y de [21]. Aunque se han obtenido también algunos conceptos de [3] y de [6].

4.5 PRÁCTICAS

En este apartado se presentará el trabajo de curso y los ejercicios de prácticas a realizar por los alumnos, así como una explicación de los objetivos que se pretenden que los alumnos adquieran con ellos. Los ejercicios de aprendizaje están diseñados para ensayar los conceptos aprendidos en la teoría de las sesiones, incrementando de forma gradual la complejidad.

Se desarrollarán en la misma sesión, después de la exposición del profesor. Las soluciones propuestas en este apartado no son únicas pudiendo existir varios procedimientos para llegar a una solución correcta.

Algunas imágenes han sido realizadas por el autor y otras han sido obtenidas de internet cuyo acceso es libre.

4.5.1 Ejercicios

En este apartado se exponen los ejercicios correspondientes a las sesiones de laboratorio. Los conocimientos que los alumnos emplean en estos ejercicios son impartidos en la sesión a la que corresponden o en anteriores. En los enunciados se adjuntan las nuevas funciones que se pueden emplear en la resolución.

4.5.1.1 Ejercicios P1

EJERCICIO 1.1.

Descripción

En ocasiones puede ser muy práctico seleccionar una región de una imagen de una forma manual e interactiva por el usuario. Puede ser muy útil a la hora de diseñar e implementar un método antes de su puesta en marcha.

Objetivo

Realizar un script (secuencia de comandos) que permita una primera segmentación seleccionando solamente un circuito integrado de una placa de circuito impreso.



Circuito integrado que buscamos.

A continuación, guardaremos la imagen del circuito integrado en nuestro directorio de trabajo con el nombre 'ci.jpg'.

Material

Funciones:

→ 'imcrop'

→ 'imwrite'

Imagen:

→ pcb_3.jpg

COMENTARIOS:

Con este primer ejercicio se pretende mostrar una herramienta que podrán usar en futuras prácticas. La resolución es simple. También servirá de entrenamiento para otros comandos como: 'imshow', 'imwrite' o 'plot'.



EJERCICIO 1.2.

Objetivo

- a) Realizar la transformación a escala de gris de una imagen a color.
- b) Representar el histograma de la imagen gris resultante.
- c) Realizar un deslizamiento del histograma restando 200 a cada valor de gris de la imagen y mostrar la imagen resultante y original.
- d) Realizar un deslizamiento del histograma sumando 200 a cada valor de gris de la imagen y mostrar la imagen resultante y original.

Material

Funciones:

→ *'imhist'*

→ *'rgb2gray'*

Imagen:

→ deportivo.jpg

COMENTARIOS:

Se ensayarán unas primeras transformaciones en imágenes con el objeto de observar los cambios que se producen en la imagen.

EJERCICIO 1.3.

Objetivo

- a) Representar la imagen y su histograma.
- b) Realizar la extensión del histograma.

Material

Imagen:

→ deportivo2.jpg

COMENTARIOS:

Del mismo modo que el anterior se trata de ensayar nuevos comandos y observar los resultados.

EJERCICIO 1.4.**Objetivo**

Descomponer una imagen RGB en sus tres planos cromáticas.
Visualizar cada componente en una misma ventana utilizando el comando *'subplot'*.

Material

Funciones:
→ *'subplot'*

Imagen:
→ leon.jpg

COMENTARIOS:

Se busca que los alumnos observen la descomposición de una imagen real en los tres planos cromáticos y ensayen otro comando más.

EJERCICIO 1.5.**Objetivo**

- a) Crear una función que transforme una imagen gris en una imagen binaria (blanco/negro).

Nombre función: binariza.m
Entradas: - I: imagen en escala de gris.
 - p: umbral de binarización.
Salidas: - T: imagen binarizada.

- b) Mediante la función creada binarizaremos la imagen *'3tirafondos.bmp'*. Primero visualizaremos el histograma y decidiremos qué umbral es correcto.
- c) Realizar otra binarización con umbral = 210, con umbral = 35 y con umbral = 150. Mostrar los resultados por pantalla en una misma ventana.

Material

Imagen:
→ 3tirafondos.bmp



Sesiones de Laboratorio

COMENTARIOS:

En este ejercicio realizarán la primera programación de una función que implementará la binarización de una imagen con un umbral dado. Una vez programada comprobarán su funcionamiento sobre la imagen con distintos umbrales.

EJERCICIO 1.6.

Descripción

El modelo HSV (*del inglés Hue, Saturation, Intensity – Matiz, Saturación, Intensidad*). Define un modelo de color en términos de sus componentes constituyentes y puede resultar muy adecuado en algunas aplicaciones a la hora de segmentar una región de la escena.

Objetivo

- a) Realizar la conversión de la imagen niño pelota.jpg (RGB) a plano HSI y mostrar el resultado.
- b) Obtener los 3 planos HSV y sacarlos por pantalla en una misma ventana.

Material

Funciones:

→ 'rgb2hsv'

Imagen:

→ niño pelota.jpg

COMENTARIOS:

Observarán otro tipo de descomposición de una imagen. Lo implementarán y observarán los resultados. Esta descomposición de la imagen puede servir como una nueva estrategia para la extracción de características.

EJERCICIO 1.7.

Objetivo

- a) Programar una función que transforme una imagen gris en una imagen binaria (blanco/negro). La función deberá establecer el umbral de forma automática mediante la minimización de la suma de las varianzas de las poblaciones de niveles de gris.

Nombre función: binauto.m.

Entradas: -Ient: Imagen en escala de gris.
Salidas: -Isal: Imagen binarizada

- b) Ensayar el programa realizado sobre las siguientes imágenes y mostrar los resultados mediante pantalla.

Material

Imágenes:

- cojinetes.bmp
- llavefija1.bmp
- perritos.jpg
- A380.jpg

COMENTARIOS:

Deberán programar otra función para la binarización, pero en este caso el umbral se establece de forma automática. Se ensayará la función programada sobre las imágenes. Estas funciones programadas servirán a los alumnos para la realización de las siguientes prácticas.

EJERCICIO 1.8.

Objetivo

Medir las dimensiones (en píxeles) de un tornillo. Las medidas que buscamos son la longitud del tornillo y la anchura de su cabeza. Las distancias las mostraremos al usuario mediante pantalla. Tomar como umbral de binarización 250.



Material

Funciones:

- 'disp'

Imagen:

- tornillo.jpg



COMENTARIOS:

Este ejercicio servirá para entrenar las funciones programadas y para que los alumnos empiecen a desarrollarse en la búsqueda de soluciones aplicando sus conocimientos.

4.5.1.2 Ejercicios P2

EJERCICIO 2.1.

Objetivo

- a) Programar una función que realice la rotación de una imagen respecto del origen. En la interpolación se utilizará el método del “vecino más próximo”.

Nombre función: rotar.m.

Entradas: -I: Imagen en escala de gris.

-angulo: ángulo que se desea rotar en grados.

Salidas: -R: Imagen rotada

- b) Ensayar el programa realizando una rotación de 15° sobre la imagen ‘cajavideo.bmp’ .
- c) Rotar la imagen ‘estrella2.bmp’ hasta que la posición de la llave fija esté en una posición horizontal.

Material

Funciones:

→ ‘round’

→ ‘imrotate’

Imágenes:

→ cajavideo.bmp

→ estrella2.bmp

COMENTARIOS:

En este ejercicio seguirán practicando la programación mediante la realización de una función que realice una rotación. La rotación se ha explicado durante la primera parte de la sesión. Después de programarla comprobarán su funcionamiento. Como parte final se propone que empleen la función para solucionar una sencilla aplicación.

EJERCICIO 2.2.

Objetivo

- a) Programar una función que realice una traslación.

Nombre función: `trasl.m`.

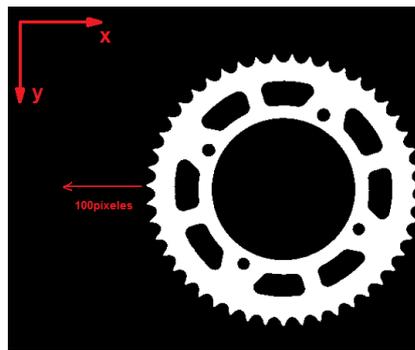
Entradas: -I: Imagen a trasladar.

-distx: píxeles de traslación en la dirección del eje x.

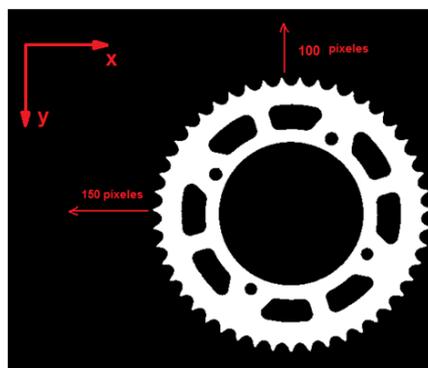
-disty: píxeles de traslación en la dirección del eje y

Salidas: -T: Imagen trasladada.

- b) Ensayar el programa realizado anteriormente sobre la imagen 'coronabin.bmp' desplazándola como se indica en la figura.



- c) Ensayar el programa realizado anteriormente sobre la imagen 'coronabin.bmp' desplazándola como se indica en la figura.



Material

Imagen:

→ coronabin.jpg

COMENTARIOS:

En este caso realizarán la programación de una función que implementa la traslación. También ha sido explicada en la sesión. Una vez programada la ensayarán sobre la imagen.

EJERCICIO 2.3.

Objetivo

Programar una función que realice un escalado.

Nombre función: escala.m.

Entradas: -I: Imagen a escalar.
 -factor: factor de escala.

Salidas: -E: Imagen escalada.

Material

Funciones:
 → 'round'

COMENTARIOS:

Programarán una función que realiza el escalado. Todas las funciones serán utilizadas en prácticas posteriores donde la dificultad se va incrementando.

EJERCICIO 2.4.

Objetivo

- Realizar sobre la imagen una binarización automática mediante la función 'binauto'.
- Trasladar la matrícula de la imagen hasta el origen de coordenadas tal como se indica en la imagen.



Para localizar la posición de la matrícula podemos realizar un `'imshow'` y mediante la

función `'data cursor'`



identificar las coordenadas.

c) A continuación realizar un escalado solamente de la matrícula con un factor de 2.

Material

Funciones:

- `'trasl'`
- `'rgb2gray'`
- `'binauto'`
- `'escala'`

Imagen:

- `matriculamoto.jpg`

COMENTARIOS:

Con este ejercicio ensayarán las funciones explicadas primero en la sesión y luego programadas.

4.5.1.3 Ejercicios P3

EJERCICIO 3.1.

Objetivo

En esta práctica introduciremos varios tipos de ruido en la imagen `'flores.jpg'`

- a) Ruido gaussiano. (media: 0, varianza: 0.01).
Mostrar la imagen original y con ruido.
Guardar la imagen en el directorio de trabajo como `'floresgaus.jpg'`.
- b) Ruido de Poisson.
Mostrar la imagen original y con ruido.
Guardar la imagen en el directorio de trabajo como `'florespoisson.jpg'`.
- c) Ruido sal y pimienta. (densidad: 0.5).
Mostrar la imagen original y con ruido.
Guardar la imagen en el directorio de trabajo como `'florespimienta.jpg'`.
- d) Ruido multiplicativo. (varianza: 0.01).
Mostrar la imagen original y con ruido.



Guardar la imagen en el directorio de trabajo como *'floresmult.jpg'*.

Material

Funciones:

→ *'imnoise'*

Imagen:

→ flores.jpg

COMENTARIOS:

Se busca que los alumnos vean los tipos de ruido y su efecto sobre una imagen.

EJERCICIO 3.2.

Objetivo

Sobre cada una de las imágenes creadas en la práctica 1 ensayar los filtros espaciales lineales siguientes y mostrar por pantalla los resultados:

- Filtro de la media. (tamaño de la máscara 3x3)
- Filtro de Gaussiano. (tamaño de la máscara 3x3)

Material

Funciones:

→ *'imfilter'*

→ *'fspecial'*

Imágenes:

→ floresgaus.jpg

→ florespoisson.jpg

→ florespimienta.jpg

→ floresmult.jpg

COMENTARIOS:

Con esta práctica los alumnos observarán cómo los distintos filtros reducen el ruido y cuáles tienen una mejor respuesta.

EJERCICIO 3.3.**Objetivo**

Ensayar los filtros espaciales no lineales siguientes y mostrar por pantalla los resultados:

- Filtro de la mediana. (tamaño de la máscara 3x3)
- Filtro del máximo. (tamaño de la máscara 3x3)
- Filtro del mínimo. (tamaño de la máscara 3x3)

Material

Funciones:

- *'imfilter'*
- *'medfilt2'*
- *'nfilter'*

Imagen:

- *rueda.jpg*

COMENTARIOS:

Igual que en el anterior ejercicio el objetivo es observar los resultados de diferentes filtros sobre una imagen afectada con ruido.

EJERCICIO 3.4.**Objetivo**

Aplicar sobre las tres imágenes un filtro de la media y de la mediana y mostrar los resultados por pantalla.

Utilizar máscaras de dimensión 3x3.

Material

Funciones:

- *'imfilter'*
- *'medfilt2'*
- *'fspecial'*



Sesiones de Laboratorio

Imágenes:

- retrato.jpg
- retrato2.jpg
- retrato3.jpg

COMENTARIOS:

Se busca que los alumnos observen los diferentes resultados al aplicar los dos filtros y con los resultados obtenidos ver cuáles se comportan mejor en función del tipo de ruido.

EJERCICIO 3.5.

Objetivo

- a) Sobre la imagen, aplicar un filtrado de la derivada. Las máscaras a emplear son las siguientes:

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \quad \begin{array}{|c|c|} \hline -1 & 1 \\ \hline \end{array}$$

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \quad \begin{array}{|c|} \hline -1 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline \end{array}$$

Mostrar los resultados por pantalla.

- b) Realiza la suma de módulos de las dos imágenes de gradiente y comparar los resultados con la imagen original.

Material

Funciones:

→ 'filter2'

Imagen:

→ circuit.jpg

COMENTARIOS:

En este ejercicio los alumnos observarán los resultados obtenidos mediante los filtros de la primera derivada.

EJERCICIO 3.6.

Objetivo

- a) Sobre la imagen 'barandilla.jpg' realizar un filtrado de Sobel utilizando las siguientes máscaras:

$$\left[\frac{\partial f}{\partial x} \right] \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \left[\frac{\partial f}{\partial y} \right] \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Realizar la suma de módulos las dos direcciones y mostrar por pantalla los resultados.

- a) Ver las opciones de la función 'edge' en la ayuda de matlab.
b) Sobre la misma imagen aplicar el filtro de Sobel mediante la función 'edge'. Ensayar las diferentes opciones que permite la función, ('thinning', direction).

Material

Funciones:

- 'edge'
→ 'filter2'

Imagen:

→ barandilla.jpg

COMENTARIOS:

Se pretende que los alumnos vean los resultados al aplicar el filtro Sobel y que se familiaricen con la función específica de MatLab ('edge') para la detección de contornos.

EJERCICIO 3.7.

Objetivo

Sobre las distintas imágenes, aplicar los filtros de Sobel, Roberts y Prewitt. Mostrar con cada imagen los resultados.

Material

Funciones:

- 'edge'



Sesiones de Laboratorio

Imágenes:

- llanta1.jpg
- latacola.bmp
- llave.jpg
- placametal.jpg
- rascacielos.jpg

COMENTARIOS:

Se trata de observar los diferentes resultados al aplicar los filtros extractores de contorno y ver las diferencias entre ellos sobre varias imágenes.

EJERCICIO 3.8.

Objetivo

- a) Extraer los contornos de la imagen mediante la Laplaciana gaussiana (LoG).
- b) Introducir ruido tipo gaussiano (media: 0, varianza: 0.01) en la imagen y aplicar el método de la Laplaciana gaussiana de nuevo y observar los resultados.
- c) Aplicar ahora un ruido tipo sal&pimienta (densidad: 0.01) y pasar el filtro LoG. Mostrar los resultados por pantalla.

Material

Funciones:

- 'edge'

Imagen:

- atomium.jpg

COMENTARIOS:

Los alumnos observarán cómo se comporta el filtro LoG ante dos tipos de ruido. Al observar los resultados verán su eficacia.

EJERCICIO 3.9.**Objetivo**

- a) Sobre la imagen extraer los contornos mediante los métodos: Sobel, Prewitt, Roberts, LoG y Canny. Mostrar los resultados.
- b) Introducir en la imagen un ruido tipo sal&pimienta de densidad: 0.01. Ahora extraer los contornos utilizando el método de canny y LoG. Mostrar los resultados.
- c) A la imagen con ruido aplicar: un filtro de Gauss 3x3 ($\sigma=0.5$), un filtro de la media 3x3 y un filtro de la mediana 3x3. Mostrar los resultados.
- d) Sobre la imagen filtrada mediante el filtro de la mediana y el filtro de la media, extraer los contornos mediante LoG y Canny. Mostrar los resultados.

Material

Funciones:

- *'edge'*
- *'imnoise'*
- *'fspecial'*
- *'imfilter'*

Imagen:

- botella.jpg

COMENTARIOS:

Como resumen de los filtros extractores de contornos, aplicarán los filtros para extraer los contornos de una imagen introduciendo antes varios tipos de ruido. Los diferentes resultados sirven para ver las diferencias entre los filtros.

4.5.1.4 Ejercicios P4EJERCICIO 4.1.**Objetivo**

- a) Crear una función que invierta los valores de una imagen binaria. Es decir, que los valores "0" (negros) pasen a valer "1" (blancos).

Nombre función: `invertir.m`Entradas: `-I: Imagen binaria.`



Sesiones de Laboratorio

Salidas: -Ic: Imagen inversa.

b) Ensayar la función sobre las imágenes. Mostrar los resultados.

Material

Imágenes:

- luna.jpg
- llavefija1.bmp
- piñon.jpg

COMENTARIOS:

Los alumnos deben programar una función que realice la inversión de una imagen binaria. Esta función será de utilidad en futuras prácticas. Para terminar, comprobarán su funcionamiento sobre las imágenes.

EJERCICIO 4.2.

Objetivo

Obtener el número de componentes conectadas mediante vecindad 4 y mediante vecindad 8 de la matriz M. Utilizar la función “bwconncomp”.

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Material

Funciones:

- ‘bwconncomp’

COMENTARIOS:

Se busca que los alumnos se familiaricen con la función adjunta en el enunciado.

EJERCICIO 4.3.**Objetivo**

- Realizar una dilatación mediante un 'strel' de diamante con radio 2y5. Mostrar los resultados.
- Realizar una erosión mediante un 'strel' de disco de tamaño 1. Mostrar los resultados.
- Ensayar la dilatación mediante los siguientes 'strel':
 - Línea, longitud 2 y ángulo 45°.
 - Octágono, tamaño 3.
 - Rectángulo, longitud 2 y altura 3.

- Arbitrario, de la siguiente forma:(en azul



los 1, en blanco los 0)

Mostrar los diferentes resultados por pantalla.

Material

Funciones:

- 'imerode'
- 'imdilate'

Imagen:

- conjllaves.jpg

COMENTARIOS:

Aquí los alumnos practicarán las operaciones morfológicas de erosión/dilatación mediante las funciones específicas de MatLab. También practicarán la creación de elementos estructurales para las operaciones morfológicas.

EJERCICIO 4.4.**Objetivo**

- Binarizar la imagen y presentar la imagen de forma que el texto se pueda leer con normalidad.
- Realizar una dilatación con los siguientes elementos estructuradores:
 - Disco, radio 1.
 - Diamante, radio 2.
 - Línea, longitud 3 y altura 0.Mostrar los resultados por pantalla.

Material

Funciones:

- 'imdilate'



Sesiones de Laboratorio

Imagen:
→componente.jpg

COMENTARIOS:

Se busca que los alumnos empiecen a pre procesar una imagen. Deberán rotar la imagen, convertir a gris y binarizar. Por último se busca que vean los resultados de aplicar distintos elementos estructurales.

EJERCICIO 4.5.

Objetivo

- a) Realizar una apertura sobre la imagen '3tirafondos.jpg'. Utilizar un 'strel' de disco de tamaño 10. Finalmente aplicar una erosión con 'strel' de octagonal de tamaño 12. Mostrar los resultados.
- b) - Realizar un cierre sobre la imagen 'cicuit.jpg'. Con línea de 3 y 0°.
- Realizar una apertura. Con línea de 4 y 90°.
- Aplicar una erosión con rectángulo 6x6.
-Mostrar los resultados.

Material

Funciones

- 'imopen'
- 'imclose'
- 'imerode'

Imágenes:

- 3tirafondos.jpg
- circuit.jpg

COMENTARIOS:

Se busca que ensayen otras operaciones morfológicas con diferentes tipos de elementos estructurales.

EJERCICIO 4.6.

Objetivo

- c) Realizar una dilatación en escala de gris sobre la imagen. Utilizar un elemento estructurador de disco y radio 5. Mostrar los resultados.
- d) Aplicar sobre la imagen en escala de gris una erosión utilizando un elemento estructurador de línea con longitud 3 y 45°. Mostrar los resultados.

Material

Funciones:

- 'imdilate'
- 'imerode'

Imagen:

→fotografía.jpg

COMENTARIOS:

Aquí practicarán las operaciones de erosión y dilatación pero sobre imágenes en escala de gris en vez de sobre imágenes binarias.

EJERCICIO 4.7.

Objetivo

- e) Realizar una apertura en escala de gris sobre la imagen. Utilizar un elemento estructurador de octágono 6. Mostrar los resultados.
- f) Aplicar sobre la imagen en escala de gris un cierre utilizando un elemento estructurador de diamante de tamaño 4. Mostrar los resultados.
- g) Realiza una binarización de ambos resultados. Mostrar los resultados.

Material

Funciones:

- 'imopen'
- 'imclose'

Imagen:

→funny.jpg



Sesiones de Laboratorio

COMENTARIOS:

El objetivo es ver cuál es el resultado de aplicar una operación morfológica sobre una imagen gris y luego binarizarla.

EJERCICIO 4.8.

Objetivo

Realizar las siguientes operaciones y mostrar por pantalla el resultado de cada operación:

- Obtener la imagen binaria.
- Eliminar todos los conjuntos blancos de menos de 10 píxeles y conectividad 8.
- Eliminar todos los conjuntos blancos de menos de 20 píxeles y conectividad 4.
- Realizar una apertura mediante 'bwmorph'.
- Eliminar todos los conjuntos blancos de menos de 15 píxeles y conectividad 8.

Material

Funciones:

- 'bwareaopen'
- 'bwmorph'

Imagen:

- gear.jpg

COMENTARIOS:

Este ejercicio muestra la secuencia de operaciones que se deben hacer para mejorar el posterior tratamiento de una imagen. Del mismo modo se practican las funciones programadas y estudiadas anteriormente.

EJERCICIO 4.9.

Objetivo

- a) Obtener el perímetro de la imagen mediante erosión.
- b) Ahora obtener el perímetro mediante la función 'bwmorph'.
- c) Por último obtenerlo mediante la función 'bwperim'. Mostrar por pantalla los diferentes resultados.

Material

Funciones:

- 'imerode'
- 'bwmorph'
- 'bwperim'

Imagen:

→ frage.jpg

COMENTARIOS:

Se pretende que los alumnos vean los resultados de aplicar varios métodos para obtener el perímetro de objetos de la imagen.

EJERCICIO 4.10.**Objetivo**

- a) Obtener el adelgazamiento máximo de las llaves fijas de 'estrella2.jpg' y 'llavefija1.jpg'. Mostrar resultados.
- b) Extraer los píxeles finales de la cadena del adelgazamiento máximo de 'llavefija1.jpg'. Mostrar resultados.
- c) Hallar las coordenadas de los píxeles finales de la 'llavefija1.jpg'.
- d) Realizar un programa que devuelva la dimensión de las dos bocas de la 'llavefija2.jpg'. Calcular la dimensión en píxeles. Utilizar para el cálculo la distancia euclídea.

Nombre función: calboca.m
Entradas: -I: Imagen.
Salidas: -d1: distancia de boca1.
 -d2: distancia de boca2.

- * La orientación de la llave puede cambiar.
- * El cálculo de la distancia admite un error de varios píxeles

Material

Funciones:

- 'bwdist'
- 'bwmorph'



Sesiones de Laboratorio

Imágenes:

- estrella2.jpg
- llavefija1.jpg
- llavefija2.jpg

COMENTARIOS:

Este ejercicio representa una aplicación, medir distancias. Los primeros apartados dan una idea de cuál puede ser la estrategia para resolver el problema del último apartado..

EJERCICIO 4.11.

Objetivo

Detectar las esquinas presentes en la imagen. Mostrar por pantalla el proceso de extracción utilizado.

Material

Imagen:

- abstract.jpg

COMENTARIOS:

Los alumnos deberán emplear las herramientas aprendidas durante las sesiones de este tema para solucionar el ejercicio. Unas posibles soluciones pueden ser: aplicando la transformada Hit-or-Miss o realizando operaciones morfológicas.

4.5.1.5 Ejercicios P5

EJERCICIO 5.1.

Objetivo

- a) Programar una función que cuente los píxeles totales de un objeto. Se considerará como objeto aquellos píxeles que estén en blanco.

Nombre función: calarea.m
Entradas: -I: Imagen de un objeto.
Salidas: -area: tamaño en píxeles del objeto.

b) Ensayar la función sobre la imagen.

Material

Imagen:
→llave.jpg

COMENTARIOS:

Otro ejercicio para practicar la programación de funciones. En este caso una sencilla función que cuente el número de píxeles blancos en una imagen binaria.

EJERCICIO 5.2.**Objetivo**

Se dispone de 4 imágenes con un nombre escrito en cada una.
Realizar una función que identifique el nombre escrito en la imagen.
La función deberá devolver por pantalla el nombre escrito en la imagen.

Nombre función: nombre.m
Entradas: -I: Imagen con nombre escrito.
Salidas: -nombre: el nombre escrito en la imagen.
-muestra por pantalla el resultado.

Ejemplo de ejecución:

```
>>I=imread('texto2.jpg');  
>>nombre(I);
```

El nombre escrito en la imagen es: Álvaro

Material

Imágenes:
→texto1.jpg
→texto2.jpg
→texto3.jpg
→texto4.jpg



Sesiones de Laboratorio

COMENTARIOS:

En este ejercicio los alumnos deberán decidir la estrategia para resolver el problema. Una posible solución utilizando conceptos que ya conocen es calcular el área de cada una de las imágenes y de ese modo diferenciar entre un nombre y otro a través de las diferentes áreas de cada nombre.

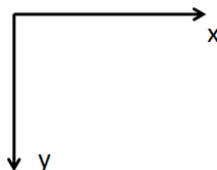
EJERCICIO 5.3.

Objetivo

- a) Realizar una función que extraiga las coordenadas del centro de gravedad de un objeto. Consideraremos que el objeto está representado mediante píxeles blancos.

Nombre función: centrogravedad.m
Entradas: -I: Imagen binaria.
Salidas: -[x, y]: vector con las coordenadas del CG.

Recordad que las coordenadas en matlab están definidas de la siguiente forma:



- b) Ensayar el programa con las imágenes.

Material

Imágenes:
→botellavino2.jpg
→chaveta02.jpg

COMENTARIOS:

Deberán programar una función que determine el centroide de un objeto. El modelo matemático para encontrarlo lo han estudiado en la misma sesión y no presenta ninguna dificultad. Esta función es una herramienta muy útil en las futuras prácticas.

EJERCICIO 5.4.**Objetivo**

- c) Realizar una función que calcule el ángulo de los ejes principales de inercia. Y que además nos devuelva a su vez las coordenadas del centro de gravedad. Tomaremos como pieza los píxeles blancos.

Nombre función: ejesinercia.m
Entradas: -I: Imagen binaria.
Salidas: -[angle, x, y]: vector con el ángulo de los ejes principales de inercia y las coordenadas del CG.

- d) Ensayar el programa con las imágenes.

Material

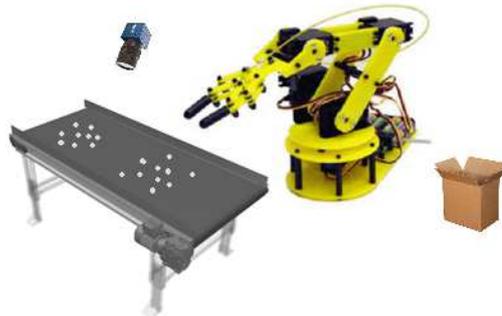
Imágenes:
→tirafondo.jpg
→sierra5.jpg

COMENTARIOS:

Del mismo modo que el anterior se programará una función de gran utilidad, la detección de los ejes principales de inercia para la extracción de la orientación que tiene un objeto en la imagen.

EJERCICIO 5.5.**Descripción**

Disponemos de una cinta transportadora por la que circulan tuercas. En un extremo de la cinta hay un brazo robótico que las coge una por una y las introduce en cajas.





- *El brazo robótico necesita las coordenadas del CG de cada tuerca para poder cogerlas.
- *Tomamos imágenes de tramos de la cinta transportadora en las que las tuercas siempre aparecen completas y en posición “tumbadas”.

Objetivo

- Realizar un programa que calcule las coordenadas del centroide de cada una de las tuercas de cada toma y que contabilice el número de tuercas fabricadas.
- Ensayar el programa con las imágenes.

Ejemplo de ejecución:

```
>>I=imread('tomatuercas1.jpg');  
>>procesatoma(I);  
Coordenadas de los centroides:  
T1(filas 103,columna 243)  
T2(filas 403, columna 785)  
T3(filas 818, columna 472)  
T4(filas 984, columna 637)  
Número de tuercas: 4
```

Material

Funciones:

→ 'bwlabel'	→ 'ejesinerca'
→ 'imdilate'	→ 'regionprops'
→ 'imerode'	→ 'bwareaopen'

Imágenes:

- tramotuercas1.jpg
- tramotuercas2.jpg
- tramotuercas3.jpg

COMENTARIOS:

Este ejercicio es un ejemplo de una posible aplicación real. Los alumnos pueden resolver el ejercicio utilizando las funciones que han creado en la misma sesión. Del mismo modo, también emplearán funciones y conceptos estudiados anteriormente.

EJERCICIO 5.6.

Objetivo

- Realizar una función que identifique la ficha de dominó. Es decir, tendrá como entrada una imagen de una sola ficha y mostrará por pantalla el tipo de ficha que es.

Las medidas de las fichas son: 50x110 píxeles

Nombre función:	fichadomino.m
Entradas:	-I: Imagen RGB.
Salidas:	-Muestra por pantalla la identificación de la ficha.

Ejemplo de ejecución:
>>I=imread('texto2.jpg');
>>fichadomino(I);
La ficha es: 3-2

b) Ensayar el programa con las imágenes.

Material

Funciones:

- 'bwlabel'
- 'imrotate'

Imágenes:

- domino1.jpg
- domino2.jpg
- domino3.jpg

COMENTARIOS:

Estas prácticas tienen un nivel de dificultad mayor. Los alumnos deberán aplicar muchas de los métodos explicados. Una posible solución empleando los conocimientos enseñados hasta el momento es:

- Binarizar la imagen.
- Extraer el centro de gravedad de la ficha.
- Obtener la orientación y girar la ficha hasta una posición horizontal.
- Segmentamos las dos zonas donde se encuentran los puntos que identifican la ficha.
- Una vez separados se realiza un etiquetado y se identifica la ficha.
- Por último se presentan los datos por pantalla.

EJERCICIO 5.7.

Objetivo

Programar una función que realice la extracción del contorno de una imagen binaria mediante el método de la tortuga.
El objeto está definido por píxeles blancos.

Nombre función: papert.m
Entradas: -I: Imagen binaria.
Salidas: -C: Imagen con el contorno.



-[f, c]: matriz con las coordenadas de los píxeles del contorno.

COMENTARIOS:

El objetivo es programar el método de la tortuga de Papert para extraer contornos. El método se ha estudiado al inicio de la sesión y no tiene gran dificultad.

EJERCICIO 5.8.

Objetivo

- a) Aplicar la extracción del perímetro mediante el método de la tortuga y mediante la función *'bwperim'*. Comparar los resultados con el método de la tortuga.

- b) Extraer características de la imagen "llave.jpg":
 - Longitud de la cadena del contorno.
 - El área de la llave.
 - Coordenadas del CG y ángulo de los ejes principales de inercia.
 - El grado de circularidad.
 - Número de agujeros.
 - Número de Euler.
 - La compacidad.

Mostrar por pantalla todas las características.

- c) Realizar la misma extracción de características para la imagen "galleta.jpg"

Material

Funciones:

→ <i>'papert'</i>	→ <i>'ejesinercia'</i>	→ <i>'bwmoph'</i>
→ <i>'bwperim'</i>	→ <i>'regionprops'</i>	→ <i>'bweuler'</i>
→ <i>'calarea'</i>		

Imágenes:

→ llave.jpg
→ galleta.jpg

COMENTARIOS:

Se busca que observen las diferencias entre dos métodos de extracción de contornos. También con esta práctica obtendrán diferentes características de un objeto. Con ello ensayarán nuevas funciones específicas de MatLab de extracción de características.

EJERCICIO 5.9.**Descripción**

En una fábrica de galletas circulan galletas terminadas por una cinta transportadora.



Una cámara toma imágenes grises de galletas para su inspección.

Cada imagen contiene varias galletas.

Nunca habrá una galleta que quede cortada por la imagen. Las galletas están completas.

Las galletas defectuosas son aquellas que están rotas.

Objetivo

Realizar un programa que inspeccione de forma automática la correcta dimensión de las galletas. Tendremos como plantilla una imagen de una galleta correcta: "galletaok.jpg".

El programa contará el número de galletas defectuosas y calculará las coordenadas del centro de gravedad. Mostrará por pantalla el resultado de la inspección.

Nombre función: inspecciongalletas.m

Entradas: -I: Imagen gris de una toma de la cinta transportadora.

Salidas: -Muestra por pantalla el número de galletas defectuosas y las coordenadas de los CG de las piezas defectuosas.

Ejemplo de ejecución:

```
>>I=imread('galleta1.jpg');
```

```
>>inspecciongalletas(I);
```

```
Número de galletas defectuosas: 2
```

```
Coordenadas del centroide de las galletas defectuosas:
```

```
Defectuosa_1: fila 49, columna 120
```

```
Defectuosa_2: fila 175, columna 76
```

Material

Funciones:

→ 'bwlabel'

→ 'centrogravedad'

→ 'bwmorph'

→ 'calarea'

→ 'bwareaopen'

Imágenes:

→galletaok.jpg

→galleta1.jpg

COMENTARIOS:



El ejercicio representa una posible aplicación de Visión Artificial. Una solución al problema empleando los conocimientos que han aprendido los estudiantes es:

- Procesamos la plantilla calculando su área. Mediante la comparación de áreas identificaremos las galletas defectuosas.
- Procesamos la imagen con las galletas.
- Etiquetamos cada galleta.
- Con cada galleta obtenemos su área y si el área difiere un 5% la tomamos como defectuosa.
- Obtenemos las coordenadas de los centros de gravedad de las galletas defectuosas.
- Por último presentamos los resultados por pantalla.

4.5.2.6 Ejercicios P6

EJERCICIO 6.1.

Objetivo

Encontrar mediante la transformada de Hough las líneas presentes en las imágenes. Dibujar las rectas encontradas mediante la función “plot”.

Material

Funciones:

- *'hough'*
- *'houghpeaks'*
- *'houghlines'*
- *'plot'*

Imágenes:

- sierra1.jpg
- sierra2.jpg
- sierra3.jpg
- sierra4.jpg

COMENTARIOS:

Se pretende que los estudiantes ensayen la función de Hough para detectar líneas. A su vez, también practicarán la función plot.

EJERCICIO 6.2.**Objetivo**

Realizar una función que compruebe si dos llaves son iguales. Es decir, que la muesca de la cerradura en las dos llaves sea igual en las dos llaves. En la imagen solamente hay dos llaves. Las llaves tienen una orientación aleatoria.

Nombre función: llaves.m
Entradas: -I: Imagen RGB de dos llaves.
Salidas: -Informa por pantalla si las llaves son iguales.

Ensayar la función con las imágenes.

Ejemplo de ejecución:

```
>>I=imread('parllaves1.jpg');  
>>llaves(I)  
Las llaves son iguales
```

Material

Funciones:

- 'bwlabel'
- 'edge'
- 'imfill'
- 'calarea'
- 'imrotate'
- 'trasl'

Imágenes:

- parllaves1.jpg
- parllaves2.jpg

COMENTARIOS:

Este es un ejercicio para que los alumnos desarrollen sus capacidades para resolver una aplicación de visión artificial. En las posibles soluciones pueden emplear diferentes herramientas que conducirán a diferentes estrategias para llegar a la solución.



Sesiones de Laboratorio

Una posible solución se describe a continuación:

- Pre procesar la imagen: convertir a gris, binarizar, extraer contornos y etiquetamos.
- Separamos cada llave en una imagen.
- Procesamos cada llave calculando su centro de gravedad y su orientación. A continuación se trasladan al centro de la imagen y se rotan hasta una posición horizontal.
- Se comparan las dos imágenes realizando una resta y se calcula el área de las diferencias obtenidas.
- Si el área de las diferencias supera el 1% del área total de la llave, las llaves son diferentes.
- Finalmente se muestran por pantalla los resultados.

EJERCICIO 6.3.

Objetivo

Utilizando la función “houghcircle” que se adjunta.
Buscar todas las circunferencias de radio entre 50 y 100 píxeles presentes en la imagen “pelotas.jpg”.
Dibujar las circunferencias obtenidas sobre la imagen gris.
Dibujar también las coordenadas de los centros.

Material

Funciones:

- ‘*houghcircles*’
- ‘*plot*’
- ‘*rectangle*’

Imágenes:

- pelotas.jpg

COMENTARIOS:

Se busca que los alumnos practiquen la función de Hough para la detección de circunferencias. MatLab no dispone de ninguna función específica y su programación resultaría muy compleja

para que los alumnos la implementaran. Por tanto esta función se suministra programada como material de ayuda con el nombre de “hougcircles.m”.

EJERCICIO 6.4.

Objetivo

Empleando la función “minimos” que se adjunta:

Realizar con cada imagen:

- Encontrar la circunferencia que mejor se ajusta a la imagen.
- Obtener las coordenadas del centro y el radio de la circunferencia.
- Dibujar el centro y la circunferencia sobre la imagen original.

Material

Funciones:

- ‘minimos’
- ‘papert’
- ‘rectangle’
- ‘plot’

Imágenes:

- corona1.jpg
- coronabin.jpg
- piñon2.jpg

COMENTARIOS:

Aquí se busca que ensayen un nuevo método para ajustar una circunferencia a una serie de puntos. Esta herramienta puede ser muy útil para algunas aplicaciones. La función no pertenece a la biblioteca de MatLab y se les suministrará a los alumnos con el nombre de “mínimos.m”.

EJERCICIO 6.5.

Objetivo

Realizar una función que determine el número de dientes de un engranaje.



Nombre función: numdientes.m
Entradas: -I: Imagen de un engranaje.
Salidas: - Devuelve por pantalla la imagen de los dientes y el número de dientes.

Ensayar la función con las imágenes.

Ejemplo de ejecución:

```
>>I=imread('engranaje1.jpg');  
>>numdientes(I)  
El engranaje tiene 112 dientes.
```

Material

Funciones:

- 'minimos'
- 'papert'
- 'houghcircles'

Imágenes:

- engranaje1.jpg
- engranaje2.jpg
- engranaje3.jpg

COMENTARIOS:

Los alumnos deberán programar una función que resuelva una aplicación. Es un ejercicio que se puede resolver con las funciones estudiadas en la sesión. Un ejemplo de solución es el siguiente:

- Pre procesamos: convertimos a gris, binarizamos.
- Aplicamos la tortuga de Papert para obtener las coordenadas del contorno.
- Ajustamos los puntos del contorno a una circunferencia.
- Creamos una plantilla (la circunferencia ajustada) que se combinarán con la imagen del engranaje para segmentar de la imagen los dientes.
- Etiquetamos y obtenemos el número de dientes del engranaje.
- Mostramos por pantalla los resultados.

EJERCICIO 6.6.

Objetivo

Realizar una función que determine el número lados de una tuerca.

Nombre función: ladostuerca.m
Entradas: -I: Imagen de una tuerca.
Salidas: - Devuelve por pantalla el número de lados de la tuerca.

Ensayar la función con las imágenes.

Ejemplo de ejecución:

```
>>I=imread('tuerca2.jpg');  
>>ladostuerca(I)  
La tuerca tiene 6 lados.
```

Material

Funciones:

- 'minimos'
- 'papert'
- 'houghcircles'
- 'houghlines'

Imágenes:

- tuerca2.jpg
- tuerca3.jpg
- tuerca4.jpg

COMENTARIOS:

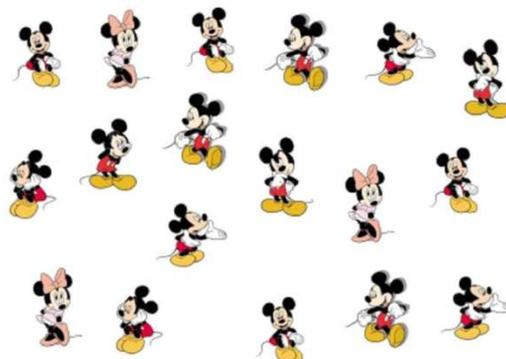
En este ejercicio los alumnos deberán aplicar las diferentes herramientas estudiadas. La solución no es única habiendo diferentes estrategias. Una propuesta de solución es la que se describe a continuación:

- Pre procesar: convertir a gris, binarizar.
- Aplicar Papert y extraer las coordenadas del contorno.
- Ajustamos una circunferencia mediante mínimos cuadrados.
- Creamos una plantilla (la circunferencia ajustada) y se la restamos a la imagen de la tuerca. De esta forma sólo quedan en la imagen las esquinas.
- Etiquetamos y obtenemos el número de lados de la tuerca.
- Mostramos los datos por pantalla.

EJERCICIO 6.7.

Objetivo

Ensayar la técnica de Template Matching sobre la imagen.



- Primero recortar de la imagen una plantilla de la figura que se desea encontrar.
- Utilizando la técnica de Matching encontrar las posiciones donde se encuentran las figuras iguales a la plantilla.

Para programar el método evaluar la similitud plantilla-imagen. Las posiciones encontradas serán los mínimos de las evaluaciones.

Material

Imagen:
→dibujosanimados.jpg

COMENTARIOS:

Se pretende que los alumnos programen la técnica de Template Matching. Es una herramienta muy potente y que se utiliza con frecuencia en muchas aplicaciones. El método ha sido explicado en la parte teórica de la sesión por lo que los alumnos disponen de los conocimientos para implementarla. Ensayarán la técnica buscando diferentes figuras en la imagen.

EJERCICIO 6.8.

Objetivo

Realizar una función que determine la hora que marca el reloj.



Nombre función: quehoraes.m
Entradas: -I: Imagen del reloj.
Salidas: - Devuelve por pantalla la hora que marca el reloj.

Ensayar la función con las imágenes.

Ejemplo de ejecución:

```
>>I=imread('reloj2.jpg');  
>>quehoraes(I)  
Son las 11:12.
```

Material

Funciones:

→ 'minimos'	→ 'papert'
→ 'bwlabel'	→ 'ejesinercia'
→ 'bwlabel'	→ 'bwlabel'
→ 'houghcircles'	→ 'centrogravedad'
→ 'regionprops'	

Imágenes:

→ reloj1.jpg	→ reloj3.jpg
→ reloj2.jpg	→ reloj4.jpg

COMENTARIOS:

Es la última práctica. Representa mayor grado de dificultad y los alumnos deberán aplicar los conocimientos adquiridos durante el curso para resolverla. Una posible solución para el ejercicio se resume en el siguiente esquema de operaciones:

- Pre procesar: convertir a gris, binarizar, extraer contornos.
- Calculamos centro de gravedad que será el centro del reloj y eje de las agujas.

- Creamos dos plantillas para eliminar una parte del reloj. La primera plantilla para eliminar el centro del reloj y la segunda para eliminar el exterior (los números romanos).
- Una vez eliminados sólo queda en la imagen las dos agujas separadas.
- Etiquetamos las agujas y las identificamos mediante la diferencia de áreas.
- Obtenemos la orientación de cada aguja.
- Deducimos la hora que indican a través del ángulo de orientación y el cuadrante que ocupan.
- Finalmente mostramos los resultados por pantalla.

4.5.2 Trabajo de curso

Se trata de un pequeño proyecto a realizar por los alumnos. Se parte de una imagen que contiene gran cantidad de elementos. El objetivo será que cada grupo programe un script para extraer alguna característica de la imagen. Por tanto el trabajo es abierto, pudiendo cada grupo trabajar de forma libre y profundizar en mayor o menor grado en la solución. Con el trabajo los alumnos desarrollarán sus conocimientos buscando una estrategia y aplicando las diferentes herramientas aprendidas a lo largo del curso.

Trabajo Curso 2012/13

Objetivo

Realizar un script que extraiga de la imagen “pcb_5.jpg” algún tipo de información.



La información a extraer es libre, puede ser:

- Contar el número de circuitos integrados en una determinada columna/fila.
- Comprobar que hay un circuito instalado en una determinada posición.
- Encontrar la posición dónde se encuentra el oscilador (integrado con carcasa metálica).
- Contar el número de pines de un determinado circuito integrado.
- etc.

Nos ayudaremos de los índices numéricos y alfabéticos que existen en el margen izquierdo e inferior.

Material

Imagen:

→ pcb_5.jpg

SOLUCIONES:

Se han resuelto dos opciones siendo de forma muy similar la solución del resto:

- 1. Comprobar la instalación o no de un c.i. en una determinada posición.

La estrategia para llevar a cabo esta aplicación es la de identificar y obtener las coordenadas de los índices presentes en los márgenes. Para ello segmentaremos solamente la región de la imagen que ocupa y contaremos los objetos presentes. Una vez obtenidas sus coordenadas conocemos la posición del centro de cada integrado. A partir de este punto se realizará una binarización de la imagen.

Para comprobar si en unas determinadas coordenadas hay un circuito basta con analizar el área de una región rectangular centrada en la posición central del circuito. Esta ventana ha de tener las dimensiones apropiadas para que sólo se evalúe el área en la zona que ocupa el circuito integrado.

En las zonas donde hay un circuito el área será mucho mayor que en las zonas donde no lo hay. Por tanto ésta será la condición que resuelva el problema.

Esquema de operaciones:

- Pedir al usuario los datos de la posición que se desea analizar.
- Pre-procesar: convertir a gris, binarizar.
- Buscar los índices de las columnas y filas mediante la segmentación de la región que ocupan en la imagen.



- Definimos una ventana de dimensiones apropiadas y la centramos sobre el centro del circuito integrado. Calculamos el área en la ventana.
 - Comprobamos la condición y mostramos los resultados por pantalla.
-
- 2. Contar el número de c.i. en una determinada fila/columna.
El proceso es muy similar al anterior. En sentido básico es comprobar si hay instalado un circuito en cada una de las posiciones de la fila o la columna.

Esquema de operaciones:

- Pedir al usuario los datos de la columna o fila.
- Pre-procesar: convertir a gris, binarizar.
- Localizamos los índices de la columna/fila.
- Definimos la ventana y la colocamos sobre cada posición de la columna/fila contabilizando el área en cada posición.
- Mostramos los resultados por pantalla.

4.6 CONCLUSIONES

El objetivo de una aplicación de Visión Artificial es la extraer información útil de una escena con el fin de proceder a una toma de decisiones. Con este temario de laboratorio, los alumnos tienen una amplia colección de herramientas y técnicas para el procesamiento de imágenes. Con ello serán capaces de desarrollar con éxito una aplicación industrial.

El desarrollo del temario ha seguido el proceso típico del procesado de una imagen: transformar geoméricamente la imagen, obtener contornos o filtrar el ruido, adaptar la estructura de los objetos sin perder información (morfología), extraer características de interés para la aplicación.

Los ejercicios de aprendizaje junto con el proyecto afianzan los conocimientos de teoría y proporcionan a los alumnos destreza a la hora de programar y buscar soluciones a problemas de Visión Artificial. Los ejercicios están dimensionados para cubrir el tiempo dedicado a trabajo autónomo de las sesiones del curso.

Con todo ello los alumnos tendrán unos conocimientos-base muy amplios que les permitirán profundizar en técnicas más avanzadas de Visión Artificial.

Capítulo 5:

ESTUDIO ECONÓMICO



5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realizará el estudio económico que supone la realización del proyecto “La Docencia de Visión Artificial en el Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial”.

Se supone que este proyecto ha sido realizado por un Ingeniero Técnico Industrial especializado en Electrónica Industrial, en el que se parte desde cero, donde se tendrá que realizar una inversión inicial para adquirir el software para desarrollar la programación específica. Sin embargo la información es de utilidad en el futuro aplicando los cambios necesarios. Sin embargo, si en el futuro se quiere cambiar la plataforma de software esto conllevará un gasto de tiempo considerable teniendo que modificar casi todo el material.

A continuación se realizará un desglose de todos los costes asociados al proyecto en función de su naturaleza.

5.2 COSTES DIRECTOS

En este apartado se detallarán los costes derivados del desarrollo del material para el curso, incluyendo los costes de personal, los costes amortizables de programas y equipos, y el coste de los materiales directos empleados.

5.2.1 Costes de personal

Para el cálculo de estos costes se considera el trabajo realizado por un Ingeniero Técnico Industrial especializado en Electrónica Industrial que será el encargado de realizar el proyecto.

En primer lugar es necesario considerar el régimen horario de trabajo seguido durante todo un año laboral. En la siguiente tabla se muestra el total de horas efectivas trabajadas como mínimo en un año.

Horas efectivas por año	
Días por año	365 días
Días de vacaciones	-31 días
Sábados y Domingos $((365-31)*2/7)$	-95 días
Días festivos	-13 días
Días de petición extraordinarios	-6 días
Total días efectivos/año	220 días/año
Horas trabajo/día	8 horas /día
Total horas/año efectivas	1760 horas



Estudio Económico

Los sueldos se calculan teniendo en cuenta los elementos que forman parte del gasto a desembolsar por parte de la empresa: sueldo bruto, incentivos, pagos a la Seguridad Social, vacaciones, días festivos, etc.

Concepto	Importe
Sueldo bruto + incentivos	36.000,00 €
Seguridad social (35%)	12.600,00 €
Total coste persona/año	48.600,00 €

Con este valor y el obtenido con las horas efectivas anuales calculadas, se puede calcular el coste horario efectivo.

Coste por hora	
Total coste persona/año	48.600,00 €
Número de horas de trabajo	1760,00 horas
Total coste/hora	27,61 €/hora

Se puede hacer un desglose del número de horas empleadas en el desarrollo del proyecto en función de las tareas realizadas.

Concepto	
Investigación y documentación	120 horas
Desarrollo de de los contenidos	480 horas
Programación de las soluciones a los ejercicios	80 horas
Elaboración de la documentación	120 horas
Total horas empleadas por el proyecto	800 horas

Una vez conocidas las horas empleadas en el proyecto y el coste que supone cada hora de trabajo, se puede calcular los gastos efectivos de personal.

Costes de personal	
Coste persona/hora	27,61 €
Total número de horas de trabajo	800,00 horas
Total costes de personal	22.088,00 €



5.2.2 Costes amortizables de programas y equipos

En este apartado se deberá realizarse el cálculo de la amortización lineal una vez conocida la inversión inicial, según los criterios aconsejados por la ley. En este apartado se presentan los costes de la amortización del material de las aplicaciones informáticas empleadas.

Se considera que la vida media de las aplicaciones informáticas es de 3 años, por lo que el factor de amortización será del 0,33.

Concepto	Importe	Amortización 33'3%
MatLab 7.0 con las toolbox necesarias	3.800,00 €	1.266,67 €
Sistema operativo WINDOWS VISTA	155,80 €	51,93 €
Paquete informático MICROSOFT OFFICE 2007	678,00 €	264,10 €
PC compatible, SONY VAIO, procesador intel® Core (TM)2 Duo CPU 2,40GHz, RAM 4,00 GB, 1000 GB Disco Duro	800,30 €	266,50 €
Impresora HP PSC 1200 series	87,59 €	29,17 €
Total material oficina	5.521,69 horas	1.878,37 €

El coste final por hora de utilización de las aplicaciones informáticas, se calcula mediante la división de la amortización anual por el número de horas de uso de dichas aplicaciones. Como las aplicaciones han sido utilizadas de forma interrumpida durante todo el proyecto, el tiempo base será la duración del proyecto.

Coste de amortización de las aplicaciones informáticas	
Coste de amortización de las aplicaciones	1.878,37 €
Total número de horas trabajadas por año	1.760 horas/año
Coste del equipo por hora	1,07 €/hora
Número de horas del proyecto	800 horas
Total coste de amortización de las aplicaciones	856 €

5.2.3 Costes derivados de otros materiales

Se contabilizan en esta partida los gastos del diferente material de oficina que se ha utilizado a lo largo del desarrollo del proyecto.

Este tipo de material es necesario para la realización de los diferentes trabajos, tanto en la fase de desarrollo y edición, impresión de documentos, almacenamiento de programas y documentos, etc.

Concepto	Importe
Mobiliario	150 €
Papel, fotocopias, encuadernación, etc...	100 €
Consumibles (discos, tinta de impresora, etc.)	50 €
Total costes de otros materiales	300 €



5.2.4 Total costes directos

El coste total directo será la suma de las partidas anteriormente descritas, costes de personal, amortización de programas y equipos, y del material empleado:

Concepto	Importe
Costes de personal	22.088,00 €
Costes de amortización	856 €
Costes de material de oficina	300 €
Total costes directos	23.244,00 €

5.3 COSTES INDIRECTOS

Dentro de los costes indirectos se evalúan una serie de factores, que aunque no revierten de forma directa en el producto, sí que generan unos costes adicionales que hay que tener presentes en el presupuesto total del proyecto. El origen de estos costes es muy variado, desde consumos energéticos de calefacción, refrigeración, iluminación hasta gastos de teléfono o de transporte.

Concepto	Importe
Gastos administrativos	150,00 €
Consumo eléctrico (estimado)	120,00 €
Consumo telefonía + Internet	120,00 €
Total costes indirectos	390,00 €



5.4 COSTES TOTALES

Los costes totales de ejecución material que lleva este proyecto se calculan a partir de la suma de los costes directos e indirectos:

Concepto	Importe
Total costes directos	23.244,00 €
Total costes indirectos	390,00 €
Coste total del proyecto	23.634,00 €

Por lo tanto, el coste final del proyecto será de **23.634,00 €** (Veintitrés mil seiscientos treinta y cuatro euros)

Capítulo 6:

CONCLUSIONES



6.1 CONCLUSIONES

El presente proyecto desarrolla un completo temario y el material didáctico correspondiente, adaptados a las exigencias de la asignatura y en consonancia con otros cursos actuales que se imparten en otras universidades. El material permitirá dotar a los alumnos de unos amplios conocimientos base en visión artificial que les permitirán profundizar en conocimientos más avanzados de visión artificial en su futuro tanto académico como profesional.

El temario está dividido en dos tipos de sesiones, un temario dirigido a las sesiones de aula y otro para las sesiones de laboratorio. Las sesiones de aula se dedican a impartir los conceptos más teóricos de la visión artificial. Son los elementos físicos que intervienen en un sistema de visión artificial, los fundamentos de la visión industrial y los elementos físicos actuales para implementar una aplicación de visión artificial.

Las sesiones de laboratorio son el eje central de la asignatura y serán sesiones teórico-prácticas. La organización de estas sesiones se basa en una primera parte de exposición de teoría por parte del profesor, y una segunda parte de trabajo autónomo del alumno resolviendo prácticas. La dinámica de las sesiones será fundamentalmente práctica, los alumnos estudiarán los conceptos teóricos y seguidamente realizarán ejercicios que facilitarán el aprendizaje. En el temario de estas sesiones se estudiarán los diferentes métodos y técnicas de tratamiento de imágenes digitales.

Se ha diseñado una amplia colección de ejercicios que desarrollen las capacidades de los alumnos en programación y resolución de problemas de visión artificial. Los estudiantes deberán decidir la estrategia y aplicar los diferentes métodos para llegar a la solución del problema. Cada práctica engloba los conocimientos estudiados con anterioridad y los nuevos conocimientos aprendidos en la sesión.

El objetivo a la hora de realizar todo el material ha sido para que sirva tanto en las exposiciones de teoría del profesor como apuntes para el estudio autónomo de los alumnos.

6.2 LÍNEAS FUTURAS

Durante el primer curso y posteriores será competencia del profesor que imparta la asignatura introducir las modificaciones necesarias que crea convenientes. Ejemplos de refuerzo, explicaciones adicionales, nuevos conceptos, etc. Estas mejoras sólo se pueden realizar una vez puesto en marcha la asignatura.

Otro aspecto de mejora sería la introducción de prácticas en las que los alumnos puedan interactuar con elementos físicos. Por ejemplo una práctica para programar una cámara inteligente y desarrollar una pequeña aplicación. Con ello los estudiantes comprobarían los aspectos reales a tener en cuenta para desarrollar una aplicación. Otro ejemplo muy interesante sería que los alumnos dispusieran de un puesto de trabajo de toma de imágenes, en el que pudieran modificar parámetros como las ópticas y la iluminación. Un ejemplo excelente es la Universidad Miguel Hernández, en la asignatura de “Robótica y Visión por Computador” los alumnos disponen de acceso remoto a una estación de captura de imágenes (sistema TITERE). La estación dispone de una cámara a color motorizada, sistema de iluminación controlado con diferentes técnicas de iluminación y de un selector automático de experimentos y piezas. Todo esto permite al alumno optimizar la estrategia de captación de imágenes. Por supuesto, llevar a cabo estas prácticas necesitaría de laboratorios e instalaciones adicionales, por lo que requeriría un cierto nivel de inversión económica.

La componente práctica del curso está orientada para realizarse sobre el software MatLab. En el capítulo 2 de este documento, se observa que los diferentes cursos de visión artificial emplean indistintamente MatLab y OpenCV para desarrollar la parte práctica. Si en el futuro se cree conveniente cambiar la plataforma se deberán realizar los cambios oportunos en las soluciones de los ejercicios de prácticas.

Capítulo 7:

BIBLIOGRAFÍA



7.1 BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía utilizada para realizar este proyecto, ha provenido de diferentes fuentes, las cuales pasamos a descubrir a continuación:

7.2 LIBROS

- [1] DAVIES, E. R. “*Machine vision, Theory, Algorithms and Practicalities*”. Morgan Kaufmann, 2005.
- [2] ESCALERA, A. de la. “*Visión por computador: fundamentos y métodos*”. Prentice Hall, 2001.
- [3] FUENTE, E. de la y MIGUEL, F . “*Visión artificial industrial. Procesamiento de imágenes para inspección automática y robótica*”. Universidad de Valladolid, 2012.
- [4] GONZÁLEZ JIMÉNEZ, J. “*Visión por computador*”. Paraninfo, 1999.
- [5] VALDEMAR CUEVAS JIMÉNEZ, E & ZALDIVAR NAVARRO, D. “*Visión por computador utilizando MatLAB y el Toolbox de procesamiento de imágenes*”. 2003.

7.3 PÁGINAS WEB

Además de las páginas webs de los diferentes cursos de visión artificial consultados en el capítulo 2. Aquí cito las demás fuentes que han servido a la realización del proyecto:

[6] “*Apuntes doctorado en Inteligencia Artificial*”. Universidad Politécnica de Madrid. [en línea]. [Consultado 6 junio 2012].

Disponible en internet:

<http://www.sia.eui.upm.es/isa/doku.php?id=asignaturas:vision_artificial#programa>

[7] AUCCAHUASI AIQUIPA W. “*Introducción al Procesamiento de Imágenes*” [en línea]. [Consultado 11 octubre 2012].

Disponible en internet:

<www.slideshare.net/balfier/operaciones-morfologicas>

[8] BOUCHER, A. “*Traitement d’images*”. Institut de la Francophonie pour L’informatique. 2012. [en línea]. [Consultado 11 enero 2013].

Disponible en internet:

<http://www2.ifi.auf.org/personnel/Alain.Boucher/cours/traitement_images/>

[9] CHAI, J. “*Camera Calibration & Stereo Reconstruction*. Computer Sciences Faculty. Texas A&M University”. [Consultado 22 de enero 2013].

Disponible en internet:

<<http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&ved=0CDsQFjAD&url=http://faculty.cs.tamu.edu/jchai/csce643/calibration-stereo.ppt&ei=4ar2UOveLo2FhQfkipIF4&usg=AFQjCNHNLyF1sYj347pfrArNO55J0jab-g&bvm=bv.41018144%2cd.ZG4>>

[10] ENERBAL GONZÁLEZ, J. “*Detección y asociación automática de puntos característicos para diferentes aplicaciones*”. Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones, Proyecto de fin de carrera. [en línea]. 2009. [Consultado 8 de enero 2013].

Disponible en internet: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8052/1/memoria.pdf>>

[11] GARCÍA LUNA, V. “*Fundamentos de la imagen digital*” [en línea]. Universidad Tecnológica de la Mixteca. México, 2002. [Consultado 10 julio 2012].

Disponible en Internet: <www.slideshare.net/IDVicMan/fundamentos-de-la-imagen-digital>



Bibliografía

[12] “*Introduction to 3D Vision*”. University of Washintong. [en línea]. [Consultado 16 de enero 2013].

Disponible en internet:

<<http://www.google.es/url?sa=t&ret=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&ved=0CGYQFjAI&url=http%3A%2F%2Fwww.cs.washington.edu%2Feducation%2Fcourses%2Fse455%2F07wi%2Fnotes%2F3D1.ppt&ei=sXj5UNTgO5GYhQefzYDQAg&usg=AFQjCNHu0RFiSKBCyc0Uj19Ki4fEUmtW7A&bvm=bv.41248874,d.ZG4>>

[13] JARAMILLO GONZÁLEZ, G. F. “*Redes neuronales aplicadas al análisis de imágenes para el desarrollo de un prototipo de un sistema de seguridad*” [en línea]. Colombia, Universidad tecnológica de Pereira, 2009. [Consultado 3 junio 2012].

Disponible en Internet:

<es.scribd.com/doc/90223531/15/Relaciones-basicas-de-pixeles>

[14] MAZO QUINTAS, M., PIZARRO PÉREZ, D. “*Visión por computador aplicada a robótica*”. Departamento de Electrónica. Universidad de Alcalá. [en línea] [Consultado 15 de enero 2013]. Disponible en internet:

<http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/SEM06_vision.pdf>

[15] MUÑOZ PÉREZ, J. “*Procesamiento de imágenes*” [en línea]. España, Universidad de Málaga. E.T.S. de ingeniería informática. [Consultado 5 noviembre 2012].

Disponible en internet:

<http://www.lcc.uma.es/~munozp/documentos/procesamiento_de_imagenes/temas/pi_cap8.pdf>

[16] PLATERO DUEÑAS, C. “*Apuntes de Visión Industrial de Ingeniería de Producción*”. Universidad Politécnica de Madrid. 2009.

[17] “*Procesamiento de imágenes digitales*” [en línea]. España, Dept. matemática, Universidad de Sevilla. [Consultado 1 septiembre 2012].

Disponible en Internet:

<alojamientos.us.es/gtocom/pid/tema3-1.pdf>

[18] RAMOS RIVAS, M. “*Sistema de pre-procesamiento de imágenes electrocardiográficas en telemedicina*” [en línea]. México, Universidad de las Américas Puebla, 2003. [Consultado 4 septiembre 2012].

Disponible en Internet:

<catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/ramos_r_m/capitulo3.pdf>

[19] “*Resumen de Matlab*”. Departamento de matemáticas [en línea]. España, Universidad de Oviedo. [Consultado 3 junio 2012].
Disponible en Internet: <orion.ciencias.uniovi.es/~salim/docencia/lib_config/intro_matlab.pdf>

[20] RINNER, B., WOLF, W. “*An Introduction to Distributed Smart Cameras*”. Universitaet Klagenfurt, 2008. [en línea]. [Consultado 28 de enero 2013].
Disponible en internet
<https://pervasive.aau.at/publications/pdf/Rinner_PIEEE2008.pdf>

[21] RODRÍGUEZ ARAÚJO, J. “*Introducción a los sistemas de visión artificial*”. 2011. [en línea]. [Consultado 21 de noviembre 2012]. Disponible en internet:
<<http://es.scribd.com/doc/8343510/Vision-Artificial>>

[22] SÁNCHEZ, O. “*Procesamiento digital de imágenes con matlab*” [en línea]. España, Universidad de Huelva, 2008. [Consultado 10 octubre 2012].
Disponible en internet:
<www.slideshare.net/omarspp/imagen-morfologicas>

[23] VÉLEZ SERRANO, J.F., MORENO DÍAZ, A. B., SÁNCHEZ CALLE, A., ESTEBAN SÁNCHEZ-MARTÍN, J. L. “*Detección de contornos con filtros de gradiente*” [en línea]. 2009. [Consultado 21 de noviembre 2012].
Disponible en internet: <<http://es.scribd.com/doc/21458936/57/Deteccion-de-contornos-con-filtros-de-gradiente>>

[24] VILÁ UBIETO, K. “*Reconstrucción 3D de modelos utilizando técnicas de visión artificial*”. Universidad Pontificia de Comillas. PFC 2009. [en línea]. [consultado 18 de enero 2013]. Disponible en internet:
<<http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4a4534627aa56.pdf>>

[25] “*Visión artificial. Formación de imágenes*”. Universidad Politécnica de Madrid. Dpto. Electrónica, Automática e Informática Industrial. [en línea] [Consultado 16 de enero 2013]. Disponible en internet:
<http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP_VisionArtificial/ApuntesVA/cap2VAFormImagv1.pdf>

[26] WAINSCHEKER, R. “*Procesamiento digital de imágenes*” [en línea]. Argentina, Universidad Nacional del centro de la provincia de Buenos Aires. [Consultado 2



Bibliografía

septiembre 2012]. Disponible en Internet:
<www.exa.unicen.edu.ar/catedras/pdi/FILES/TE/CP1.pdf>

[27] WONG, KH. “*3D computer vision techniques*”. The Chinese University of Hong Kong. Dept. of Computer Science & Engineering. 2004. [Consultado 23 de enero 2013].

Disponible en internet:

<http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDYQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.cse.cuhk.edu.hk%2F~syzhang%2Fcourse%2FMSc12%2Flec6.ppt&ei=U_7_UPvkC-eH4gToz4AY&usg=AFQjCNG3R9O4e5h6sWrPniqWzCDq8yZTnQ&bvm=bv.41248874,d.bGE>