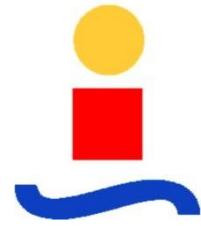




UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA  
FADA-CATEC



# Detección de obstáculos con LIDAR mediante la técnica de background

---

PROYECTO FIN DE CARRERA

INGENIERÍA SUPERIOR DE TELECOMUNICACIÓN

**Autora:** Irene Santos Velázquez

**Tutor:** Aníbal Ollero Baturone

Julio 2013, Sevilla



# Índice general

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>                              | <b>7</b>  |
| 1.1. Objetivo del proyecto .....                                  | 7         |
| 1.2. Metodología .....  | 7         |
| 1.3. Contenido de la memoria.....                                 | 8         |
| <b>CAPÍTULO 2. LIDAR .....</b>                                    | <b>9</b>  |
| 2.1. Principio de funcionamiento .....                            | 9         |
| 2.1.1. Medición del tiempo .....                                  | 9         |
| 2.1.2. Rango de detección .....                                   | 10        |
| 2.1.3. Tecnología multicanal.....                                 | 10        |
| 2.1.4. Resolución angular y frecuencia de barrido.....            | 11        |
| 2.2. Aplicaciones.....  | 11        |
| 2.2.1. Detección de plancton en el océano .....                   | 11        |
| 2.2.2. Detección de obstáculos subterráneos en la carretera ..... | 13        |
| <b>CAPÍTULO 3. TÉCNICAS DE SUSTRACCIÓN DE BACKGROUND .....</b>    | <b>17</b> |
| 3.1. Métodos básicos.....   | 18        |
| 3.1.1. Diferencia entre píxeles .....                             | 18        |
| 3.1.2. Media de n píxeles.....                                    | 19        |
| 3.1.3. Mediana de n píxeles.....                                  | 20        |
| 3.2. Running Average.....   | 21        |
| 3.3. Running Gaussian Average.....                                | 22        |
| 3.4. Mezcla de gaussianas.....                                    | 23        |

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| 3.5.  | Estimación de densidad del kernel .....                                  | 23        |
| 3.6.  | Estimación basada en la técnica mean-shift.....                          | 24        |
| 3.7.  | Aproximación secuencial de densidad del kernel.....                      | 24        |
| 3.8.  | Cocurrencias de variaciones en la imagen .....                           | 25        |
| 3.9.  | Autobackgrounds (“Eigenbackgrounds”) .....                               | 26        |
| <b>CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO RUNNING AVERAGE.....</b> |  | <b>27</b> |
| 4.1.  | Descripción general .....  | 27        |
| 4.2.  | Descripción detallada.....   | 30        |
| 4.2.1.  | Función principal (MAIN) .....   | 30        |
| 4.2.2.  | Background .....   | 31        |
| 4.2.3.  | Set_bg.....  | 31        |
| 4.2.4.  | Add_bg.....  | 32        |
| 4.2.5.  | Add_bg_ini.....  | 33        |
| 4.2.6.  | Set_ob.....  | 33        |
| 4.2.7.  | Detect.....  | 33        |
| 4.2.8.  | Print_ob.....  | 38        |
| 4.2.9.  | Keep_object.....   | 38        |
| 4.2.10.   | Check_obj_retirado.....  | 38        |
| 4.2.11.   | Calc_tamaño .....  | 41        |
| 4.2.12.   | Calc_tamaño_fin .....  | 42        |
| 4.2.13.   | Calc_hip .....   | 43        |
| 4.2.14.   | Clear_ob_aux.....  | 44        |
| 4.2.15.   | Clear_ob.....  | 44        |
| 4.2.16.   | Mean .....   | 44        |
| 4.2.17.   | Clear_all_possible.....  | 44        |
| 4.2.18.   | Delete_calc_ob.....  | 45        |
| <b>CAPÍTULO 5. CONVERSIÓN DE COORDENADAS .....</b>                |  | <b>47</b> |
| 5.1.  | Sistemas de Coordenadas .....  | 47        |
| 5.1.1.  | Sistemas de coordenadas geodésicas (LLA) .....                           | 49        |
| 5.1.2.  | Sistemas de coordenadas centradas en tierra, fijas en tierra (ECEF)..... | 50        |
| 5.1.3.  | Sistema de coordenadas norte, este, abajo (NED) .....                    | 50        |
| 5.1.4.  | Sistema de coordenadas cuerpo (BODY) .....                               | 50        |
| 5.2.  | Transformación de coordenadas .....                                      | 51        |
| 5.2.1.  | DCM.....   | 51        |
| 5.2.2.  | Ángulos de Euler.....  | 51        |
| 5.2.3.  | Cambio de ejes Cuerpo a NED con los ángulos de Euler y viceversa .....   | 52        |
| 5.2.4.  | Cambio de coordenadas LLA a ECEF .....                                   | 55        |

|                    |  |            |
|--------------------|--|------------|
| 5.2.5.             | Cambio de coordenadas ECEF a LLA .....                   | 56         |
| 5.2.6.             | Cambio de coordenadas ECEF a NED.....                    | 57         |
| 5.2.7.             | Cambio de coordenadas NED a ECEF.....                    | 57         |
| 5.3.               | Implementación del cambio de coordenadas NED a LLA ..... | 58         |
| 5.3.1.             | Constantes .....   | 58         |
| 5.3.2.             | Conversor.....   | 59         |
| 5.3.3.             | NewConversion .....                                      | 59         |
| 5.3.4.             | Body2ned.....  | 60         |
| 5.3.5.             | Ned2ecef.....  | 60         |
| 5.3.6.             | Ecef2lla .....   | 61         |
| 5.3.7.             | Lla2ecef.....  | 62         |
| 5.3.8.             | Ecef2ned .....   | 62         |
| 5.3.9.             | Ned2body .....   | 63         |
| <b>CAPÍTULO 6.</b> | <b>CÓDIGO EN C++ .....</b>                               | <b>65</b>  |
| 6.1.               | main.cpp .....   | 65         |
| 6.2.               | background.cpp.....                                      | 68         |
| 6.3.               | background.h.....  | 92         |
| 6.4.               | conversor.cpp.....                                       | 95         |
| 6.5.               | conversor.h .....  | 98         |
| <b>CAPÍTULO 7.</b> | <b>CONCLUSIONES .....</b>                                | <b>101</b> |
| 7.1.               | Desarrollos futuros .....                                | 102        |
| <b>CAPÍTULO 8.</b> | <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                 | <b>103</b> |

## Lista de Figuras

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <i>Figura 1:</i>  | <i>Rango de escaneo</i>  | 10 |
| <i>Figura 2:</i>  | <i>Principio de los planos de escaneo (canales)</i>                              | 11 |
| <i>Figura 3:</i>  | <i>Diagrama esquemático del LIDAR NOAA</i>                                       | 12 |
| <i>Figura 4:</i>  | <i>Geometría para la detección de obstáculos negativos</i>                       | 13 |
| <i>Figura 5:</i>  | <i>Distancias en un obstáculo negativo</i>                                       | 14 |
| <i>Figura 6:</i>  | <i>Diagrama del NODR</i>   | 15 |
| <i>Figura 7:</i>  | <i>Diagrama del método diferencia entre píxeles</i>                              | 19 |
| <i>Figura 8:</i>  | <i>Diagrama del método media de n píxeles</i>                                    | 20 |
| <i>Figura 9:</i>  | <i>Diagrama del método Running average</i>                                       | 22 |
| <i>Figura 10:</i> | <i>Diagrama del algoritmo</i>  | 29 |
| <i>Figura 11:</i> | <i>Comparación de píxeles con mismo canal y ángulo horizontal</i>                | 34 |
| <i>Figura 12:</i> | <i>Índices necesarios para los objetos en check_obj_retirado</i>                 | 40 |
| <i>Figura 13:</i> | <i>Forma gráfica de calcular el tamaño del objeto</i>                            | 42 |
| <i>Figura 14:</i> | <i>Índices en un vector cualquiera</i>   | 43 |
| <i>Figura 15:</i> | <i>Triángulo</i>   | 43 |
| <i>Figura 16:</i> | <i>Sistemas de Coordenadas Geodésico, ECEF y NED</i>                             | 48 |
| <i>Figura 17:</i> | <i>Sistema de Coordenadas Cuerpo</i>   | 48 |
| <i>Figura 18:</i> | <i>Coordenadas NED y ángulos de Euler</i>  | 52 |
| <i>Figura 19:</i> | <i>Coordenadas NED (negrita) respecto a ejes cuerpo <math>x_b y_b z_b</math></i> | 53 |
| <i>Figura 20:</i> | <i>Giro en yaw</i>   | 53 |
| <i>Figura 21:</i> | <i>Giro en pitch</i>   | 54 |
| <i>Figura 22:</i> | <i>Giro en roll</i>  | 54 |

## Lista de Tablas

|                  |  |           |
|------------------|--|-----------|
| <i>Tabla 1:</i>  | <i>Constantes del algoritmo.....</i>                                 | <i>30</i> |
| <i>Tabla 2:</i>  | <i>Vectores inicializados en la función set_bg .....</i>             | <i>32</i> |
| <i>Tabla 3:</i>  | <i>Parámetros de entrada de add_bg .....</i>                         | <i>32</i> |
| <i>Tabla 4:</i>  | <i>Vectores inicializados en la función set_ob .....</i>             | <i>33</i> |
| <i>Tabla 5:</i>  | <i>Actualización del índice indexi .....</i>                         | <i>35</i> |
| <i>Tabla 6:</i>  | <i>Variables al terminar la comparación de pixeles .....</i>         | <i>35</i> |
| <i>Tabla 7:</i>  | <i>Parámetros de entrada de check_obj_retirado .....</i>             | <i>39</i> |
| <i>Tabla 8:</i>  | <i>Variables de la función check_obj_retirado.....</i>               | <i>39</i> |
| <i>Tabla 9:</i>  | <i>Parámetro de salida de check_obj_retirado.....</i>                | <i>41</i> |
| <i>Tabla 10:</i> | <i>Parámetros de entrada de calc_tamaño.....</i>                     | <i>41</i> |
| <i>Tabla 11:</i> | <i>Vectores borrados en clear_all_possible .....</i>                 | <i>45</i> |
| <i>Tabla 12:</i> | <i>Constantes necesarias para la conversión de coordenadas .....</i> | <i>58</i> |
| <i>Tabla 13:</i> | <i>Vectores inicializados en conversor.....</i>                      | <i>59</i> |
| <i>Tabla 14:</i> | <i>Parámetros de entrada y variables en las que se guardan.....</i>  | <i>59</i> |

