Universidad Carlos III de Madrid

Telémetro láser 3D con sensor Hokuyo UTM-30lx

Proyecto fin de carrera Ingeniería Industrial

Ingeniería de Sistemas y Automática

Autor:
Carlos Cano Olivera

Tutor:
Fernando Martín Monar

Título:Telémetro láser 3D con sensor Hokuyo UTM-30lx
Autor:Carlos Cano Olivera
Tutor:Fernando Martín Monar

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día _____ de _____ de 20____ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO PRESIDENTE

Agradecimientos

Agradezco el apoyo que me han ofrecido mis padres y mi hermana para poder aprobar la Ingeniería. Al igual que mis amigos, muchos de los cuales han sido mis compañeros de estudio en la biblioteca.

Por último gracias a todos mis compañeros de Universidad por todos los momentos que hemos pasado juntos durante estos años.

Resumen

Este proyecto se basa en la sincronización del sensor Hokuyo UTM-30lx con un motor paso a paso que tiene acoplado. El conjunto forma un láser motorizado que realiza barridos láser en tres dimensiones y el resultado es la formación de imágenes 3D. Mediante la representación de éstas se puede comprobar la buena sincronización del conjunto sensor-motor siempre que en las imágenes se representen los objetos barridos con sus correspondientes medidas.

Abstract

The proyect is based on the timing of Hokuyo UTM-30lx sensor with a stepper motor, which are connected. The whole make a motorized that perform laser scans in three dimensions, and the result is the formation of 3D images. By representing these we can check the good timing of the sensor-stepper motor assembly if the images represent the scans object with their correspondings measures.

Índice general

1. Introducción **1**
1.1. Objetivos 3

2. Estado del arte **5**
2.1. Lidar 5
2.1.1. Aplicaciones Lidar 7
2.2. Radar 8
2.2.1. Aplicaciones Radar 9
2.3. Sónar 12
2.3.1. Aplicaciones Sónar 13

3. Conceptos teóricos **14**
3.1. Motores paso a paso 14
3.2. Láser de localización de rangos 18

4. Hardware utilizado **22**
4.1. Láser Hokuyo UTM-30lx 22
4.1.1. Interface 24
4.1.2. Protocolo de comunicación 26
4.1.3. Seguridad del Láser 32
4.1.4. Calibración del sensor 33
4.2. Plataforma rotativa Standa 8MR151 39
4.3. Controladora Standa(8SMC1-USBhf-B1-1) 40
4.4. Montaje total 43

5. Resultados **45**
5.1. Entornos 3D 47
5.2. Tiempos de barrido 55

6. Desarrollo del software **56**
6.1. Fases del desarrollo 56
6.2. Archivos necesarios 57
6.3. Diagrama de flujo 59

7. Conclusiones y aplicaciones futuras **62**

Presupuesto **64**

Anexos **67**

Índice de figuras

1.1. Imagen creada mediante Hokuyo UTM-30lx 2

2.1. Red de radares de banda S NEXRAD 10
2.2. Radar Doppler 11
2.3. Izquierda: Sónar Activo Derecha: Sónar Pasivo 12

3.1. Motor paso a paso 14
3.2. Rotor Motor paso a paso 15
3.3. Estator Motor paso a paso 15
3.4. Distribución del bobinado en motor unipolar 16
3.5. Distribución del bobinado en motor bipolar 17
3.6. Secuencia de activación motores paso a paso bipolares 18
3.7. Pulso Gausiano 19
3.8. Dos longitudes de onda moduladas con onda portadora 20
3.9. Esquema de la técnica de triangulación 21

4.1. Rango medida UTM-30lx 23
4.2. UTM-30lx 24
4.3. Alimentación UTM-30lx 24
4.4. Salida síncrona 25
4.5. Estructura del comando y la respuesta en la comunicación láser 28
4.6. Clase de láser según su longitud de onda, tiempo de exposición y potencia emitida 32
4.7. Sensor tomando medidas para el caso 1 34
4.8. Modelo estadístico caso 1 34
4.9. Sensor tomando medidas para el caso 2 35
4.10. Modelo estadístico caso 2 35
4.11. Modelo estadístico caso 3 36
4.12. Sensor tomando medidas para el caso 4 37
4.13. Modelo estadístico caso 4 37

4.14. Sensor tomando medidas para el caso 5 38
4.15. Motor paso a paso 8MR151 39
4.16. Controladora 8SMC1-USBhf-B1-1 40
4.17. Conector de 15 pines D-sub 41
4.18. Cableado del conector D-sub 41
4.19. Controladora con conexiones 43
4.20. Fuente para alimentar láser Hokuyo 44

5.1. Disposición láser 46
5.2. Entorno 3D de armarios de laboratorio I 47
5.3. Imagen armarios laboratorio real, parte superior 48
5.4. Imagen armarios de laboratorio real, parte inferior 48
5.5. Entorno 3D de armarios de laboratorio II 49
5.6. Entorno 3D de pasillo Betancourt 50
5.7. Pasillo tercera planta edificio Betancourt real 51
5.8. Entorno 3D de pasillo con persona estática 52
5.9. Imagen persona estática en pasillo real 52
5.10. Demostración de altura real de la figura 5.8 53
5.11. Entorno 3D de pasillo con persona no estática 54

6.1. Diagrama de flujo programa principal I 59
6.2. Diagrama de flujo programa principal II 60
6.3. Diagrama de flujo realizar barrido 61

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad la robótica está avanzando a grandes pasos, involucrándose cada vez más y más en temas de gran complejidad, como se puede observar cada día en el ámbito industrial. Diariamente el porcentaje de trabajo realizado por los robots aumenta, necesitando un alto grado de exactitud para realizar correctamente las funciones requeridas, ya sea realizar una soldadura en un automóvil o una paletización de mercancía.

Existen otros ámbitos de mayor complejidad que el anterior, en el que la robótica se está involucrando desde hace años. Como es el caso de la medicina, el rescate de seres humanos en accidentes o la localización de minas terrestres, entre otros. En estos casos es de vital importancia el perfecto funcionamiento del robot y de todos los instrumentos que usa, ya que se está tratando con seres humanos, donde el porcentaje de error permitido no existe.

Un robot, para realizar su cometido, necesita simultáneamente interactuar con los elementos exteriores a él y controlar sus componentes internos, como pueden ser los motores y los actuadores. Para realizar estas tareas se usan sensores y elementos de diversa índole. Entre ellos se encuentran los sensores y elementos de localización, como puede ser un localizador por GPS, una cámara, un sensor de ultrasonidos o un sensor láser, entre otros.

Este documentos se centra en el último de los elementos mencionados, el sensor láser. Ya que la finalidad del proyecto es desarrollar e implementar un software apropiado para el control y manejo de un láser 3D.

El láser 3D se construye mediante un sensor láser de dos dimensiones y una plataforma que realiza un movimiento rotativo. Este movimiento incorpora una tercera dimensión, al láser 2D mencionado, mediante la cual se puede conseguir una imagen en tres dimensiones formada por una nube de puntos, obtenida al realizar el barrido láser.

A continuación se muestra un ejemplo de como quedaría representada una habitación después de haber realizado un barrido sensor en tres dimensiones con un láser Hokuyo UTM-30lx [1] instalado en un brazo robótico.

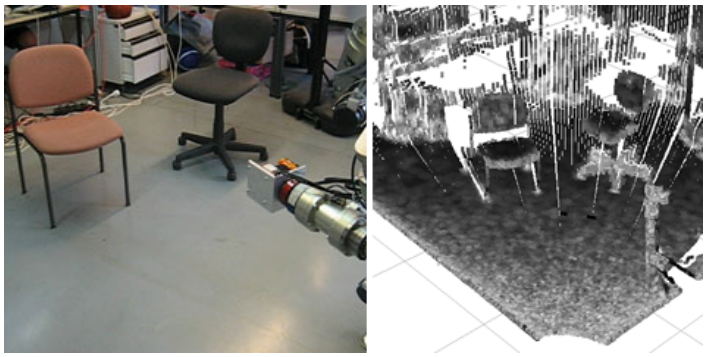


Figura 1.1: Imagen creada mediante Hokuyo UTM-30lx

Las imágenes obtenidas pueden ser más o menos precisas dependiendo de la resolución angular que tenga el sensor. Hay que tener en cuenta que precisión se necesita a la hora de realizar un barrido, ya que según ella el volumen de datos a tratar va a ser mayor o menor. Con una precisión alta se obtiene una gran cantidad de datos y como consecuencia se aumentan los tiempos de adquisición y de tratamiento. Éstos pueden actuar como cuello de botella si son mayores que el tiempo de barrido o el tiempo durante el que se está moviendo la plataforma rotativa.

Todos los tiempos comentados son fundamentales a la hora de crear una imagen en tres dimensiones. Sin embargo en este proyecto el tiempo crítico será el de tratamiento de datos y el tiempo que tarda la plataforma rotativa en llegar a la posición deseada, ya que el tiempo de barrido es muy corto, 25ms, y la comunicación con el PC se realiza por medio de una interface USB 2.0.

[1] Este sensor es el mismo modelo que se va a utilizar en la realización del proyecto

1.1. Objetivos

En esta sección se van a explicar los objetivos que se desean obtener con este proyecto. El objetivo principal se basa en la realización de un software que controle simultáneamente el láser Hokuyo UTM 30-lx y el motor paso a paso que mueve la plataforma rotativa Standa 8MR151 mediante su correspondiente controladora, para obtener un barrido de puntos tridimensionales. Con la información obtenida el barrido se debe crear una imagen en 3D, con la cual se pueda comprobar el correcto funcionamiento del software.

Para el desarrollo del software necesario se ha recurrido al lenguaje de programación C, ya que que éste se puede implementar al mismo tiempo en el láser y en la controladora encargada del motor paso a paso. Y con ayuda de la aplicación Matlab se va a comprobar el buen funcionamiento del software desarrollado. Esto se debe a que contiene funciones que permiten representar fácilmente gráficos en tres dimensiones.

Para llegar a la resolución del objetivo final, se dividió éste en dos problemas por separado:

- Controlar el sensor Hokuyo
- Controlar la plataforma rotativa Standa

El propósito de la separación del problema inicial en los dos comentados, más específicos, consiste en centrarse sólo en uno de los elementos a controlar. De este modo se puede profundizar de mayor manera en cada hardware, consiguiendo realizar el software más apropiado para los mismos y conseguir obtener el mayor rendimiento de cada una de sus características.

Una vez que cada uno de los elementos hardware se ha estudiado por separado, se debe desarrollar el programa que consiga realizar barridos de puntos en tres dimensiones. Para conseguirlo se decidió que cada cierto número de grados el motor paso a paso se detuviese para que en ese instante el láser Hokuyo realizase un barrido. A continuación el motor se movería el mismo número de grados que anteriormente y se procedería a realizar el barrido de la misma forma. Esta secuencia se repetiría tantas veces como fuesen necesarias hasta que el motor llegase a su posición de destino final, previamente indicada.

Para conseguir realizar todo lo mencionado anteriomente, en la concepción del programa se plantearon las siguientes especificaciones:

- Detención del motor paso a paso en los puntos deseados, y control de la velocidad de giro.
- Elección del incremento del paso angular del motor, al igual que de la cantidad de grados totales a desplazarse.
- Realización de barridos láser eligiendo que rango de datos de los 270° posibles a barrer por el láser se quieren tratar.
- Elección del paso del motor entre los cuatro tipos diferentes que se permiten, un paso completo, medio paso, un cuarto de paso y un octavo de paso.

Capítulo 2

Estado del arte

Hoy en día las tecnologías de localización están implementadas en una amplia variedad de sectores como puede ser la robótica, el sector militar, la navegación marítima, la construcción o la geología entre otros muchos.

Cada tecnología se ha desarrollado para un cometido distinto, sin embargo se puede utilizar más de una al mismo tiempo para cubrir las necesidades del trabajo o proyecto que se esté realizando. Por ejemplo en el ámbito militar es frecuente usar más de una tecnología de localización simultáneamente, ya que los objetivos que se desean cubrir en este ámbito son muy variados.

A continuación se van a explicar en detalle las tres tecnologías más usadas en la detección de objetos, que son el RADAR, el SÓNAR y el LiDAR. Como se podrá comprobar cada una de ellas tiene un principio de funcionamiento distinto al de las demás

2.1. Lidar

Las siglas de Lidar provienen del acrónimo inglés "Light detection and ranging", lo que en español puede ser traducido como "detección de luz y rangos". Se basa en una tecnología óptica, mediante la cual se pueden obtener medidas y otras propiedades, como el color de los obstáculos que encuentra un haz láser emitido por un sensor.

Esta tecnología tiene similitudes con la tecnología radar, que será comentada en la siguiente sección, cuando se está localizando objetos a grandes distancias, más de 100 metros. Ya que las dos calculan la distancia mediante

el tiempo que tarda en retornar el pulso emitido al ser reflejado. Sin embargo el radar emite ondas de radio y el Lidar pulsos láser.

Cuando se intenta localizar objetos a distancias más reducidas se usan otras tećnicas, ya que la comentada anteriormente no tiene suficiente precisión. Para distancias menores a 100 metros se suele utilizar un método en el que se emiten pulsos láser a diferentes frecuencias, y mediante el cambio de fase entre la señal emitida y la recibida se obtiene la distancia. Con este método se obtienen precisiones de hasta ±10mm. Cuando el rango de distancias en donde se encuentran los objetos a localizar es menor a 2 metros se utiliza la ténica de triangulación, en la que la que se obtienen precisiones mayores de ±1mm. [1].

Actualmente los fabricantes de Lidar están continuamente desarrollando nuevas técnicas para obtener mayores precisiones a la hora de realizar los barridos láser, con la finalidad de obtener distancias más reales.

El número de aplicaciones para las que el Lidar es últil es mucho mayor que para el Radar. Ya que normalmente para detectar un objeto, la longitud de onda de la señal emitida tiene que ser igual o menor del tamaño del objeto a detectar. Y en el caso del Lidar las longitudes de onda emitidas son entre diez y cien mil veces menor que las longitudes de onda emitidas por el Radar.

Hasta ahora se ha definido lo que es la tecnología Lidar y las diferentes técnicas que se utilizan para obtener las distancias a los objetos o cuerpos que encuentre el haz de luz en su trayectoria. A continuación se va a comentar las ventajas y desventajas que presenta la tecnología Lidar.

Ventajas:

- Hay pocas fuentes que le producen interferencias.
- Comparado con el Radar, es más difícil de detectar.
- Tiene un rango de error muy pequeño, entre ±10mm y ±1mm al medir una distancia de 100m.
- Rapidez elevada al realizar un barrido.

[1] Estas técnicas están ampliadas en el capítulo 3, sección 3.2

Desventajas:

- Si en el aire existen partículas, por ejemplo aire o agua, el rango de medida puede quedar limitado.
- Tiene dificultad para rastrear objetivos.
- Un exceso de luz puede provocar error en la medida.
- Pueden existir problemas con algunos colores que no reflejan bien la luz.

2.1.1. Aplicaciones Lidar

Actualmente la tecnología Lidar se está introduciendo cada vez en más sectores. El sector de la topografía y la geodesia es uno de los que más recurre a esta tecnología, ya que con ella se puede obtener imágenes detalladas del terreno que se desee analizar. Un método muy usado para obtener estas imágenes consiste en montar en un avión o helicóptero el Lidar, el cual realiza un barrido láser de la zona obteniendo todos los datos necesarios para crear el mapa. Junto al Lidar se monta un GPS, mediante el cual se puede ubicar con exactitud el punto donde se está realizando la medida, y un Sistema de Navegación Inercial, con el que se obtiene la orientación exacta del sensor.

También se usa la tecnología Lidar en aplicaciones del ámbito hidrológico-forestal. Entre todas éstas se puede mencionar la clasificación del suelo según su uso, el estudio de la altura y composición de la vegetación, la modelización hidrológica y sedimentaria, el análisis de procesos biológicos en el medio fluvial o el estudio de indicadores del estado ecológico de los ríos. Con el conjunto de los datos obtenidos de las aplicaciones mencionada, y algunos adicionales, se pueden obtener modelos para predicción de riadas y cambios en el terreno debido a la erosión.

Existen otros campos en los que el Lidar cada vez se está introduciendo más, como es la reconstrucción de accidentes de avión, de accidentes industriales o de terremotos que afectan a carreteras, entre otros. Gracias a estas reconstrucciones se puede estudiar que causas han producido los accidentes de avión e industriales e intentar evitarlos en un futuro. En el caso de los terremotos se estudia que tipo de carretera habrá que construir en el futuro para que un posible temblor no consiga destruirla.

En el sector de la investigación, se suele instalar en robots con distintas finalidades. Una de ellas es la de realizar mapas del entorno en el que se encuentre el robot. Otra consiste en detectar los obstáculos que se encuentran en la trayectoria del robot mientras éste realiza un movimiento. Para cada tipo de aplicación se utiliza un tipo diferente de láser.

2.2. Radar

Las siglas Radar provienen del acrónimo en inglés RAdio Detection and Ranging", lo que puede ser traducido al español como "detección de rangos por radio". La tecnología Radar se basa en el envio de ondas de radio para conseguir la detección de objetos. Estas ondas impactan contra los cuerpos que se encuentran en su trayectoria, y al realizarse el impacto una parte de la onda se refleja. La localización del objeto en el que la onda ha impactado se determina por medio de la energía que contiene la onda reflejada.

En la tecnología Radar es de vital importancia conocer la velocidad de propagación de las ondas de radio, ya que según el medio en el que se propaguen va a variar significativamente, al contrario que en la tecnología Lidar. En el vacío la velocidad de propagación de las ondas corresponde con la de la constante universal c, $3 \times 10^8\ m/s$. Sin embargo cuando las ondas viajan por medio de materiales no conductores, como puede ser el aire, la velocidad de propagación es menor que c, ya que la permitividad y la permeabilidad del medio es distinta que el del vacío. En ese caso la velocidad de propagación sería:

$$\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

Donde ϵ es la permitividad del medio y μ la permeabilidad.

El cambio de velocidad va a suponer un cambio en el índice de refracción, aunque también va a variar en función de la temperatura y el índice de humedad.

A la hora de localizar objetos, el Radar tiene la desventaja de que no puede detectar objetos del rango de pocos milímetros, ya que las ondas de radio que usa tienen una longitud de onda mayor que esos objetos. Otra

desventaja que presenta la tecnología Radar es que existen una multitud de fuentes que pueden crear interferencias, con lo que se produce un error en la medición de las distancias.

2.2.1. Aplicaciones Radar

Aunque se ha mencionado que la tecnología Radar no puede localizar objetos de pocos milímetros, si que es capaz de localizar la mayoría de las partículas de la atmósfera. Por lo que su aplicación en el campo de la meteorología es muy importante. Hay tres tipos de radar que destinados a esta aplicación son los más usados:

1. **Radar de Banda S**: tiene un alcance de hasta 240km. Operan en una frecuencia entre los 2 y los 4 GHz, con una longitud de onda entre los 8 y los 15cm. Es un radar que no se ve afectado por la atenuación, sin embargo necesita utilizar un disco de grandes dimensiones que produce un elevado precio.

2. **Radar de Banda C:** se utiliza en rangos intermedios próximos al radar, menos de 120km. Operan en una frecuencia entre los 4 y los 8GHz, con una longitud de onda entre los 4 y los 8 cm. Son radares más baratos que los de Banda S, pero al contrario que a éstos si les afecta la atenuación.

3. **Radar de Banda X:** se utiliza en rangos de distancias menores a los 60km. Operan en una frecuencia entre los 8 y los 12 GHz, con una longitud de onda entre los 2.5 y los 4cm. Son capaces de detectar partículas más pequeñas que los anteriores radares, y por ello son muy útiles en el estudio del desarrollo de las nubes.

En la actualidad hay una gran cantidad de redes de radares destinados a la previsión meteorológica, que proporcionan en tiempo real servicios meteorológicos. Como ejemplo se encuentra la red NEXRAD, en los Estados Unidos.

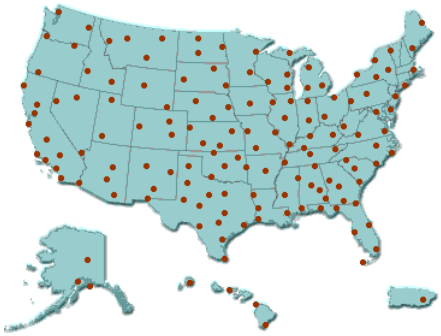


Figura 2.1: Red de radares de banda S NEXRAD

Estas redes de Radares son capaces de proporcionar diversos tipos de servicios, como la previsión de precipitaciones a corto y medio plazo, entre los 5 y 10 minutos. Con esta información se pueden realizar estudios de la evolución temporal que permiten activar los sistemas de prevención de lluvias extremas, y por tanto pueden evitar accidentes.

Otra aplicación en la que se usa la tecnología Radar es la medida de velocidades. Para ello se utilizan radares Doppler, que tienen la capacidad de obtener la variación de la fase de la onda devuelta por el objeto del que se desea medir su velocidad. En la Figura 2.2 podemos observar su funcionamiento. La figura de la izquierda muestra el instante '1' en el que el radar obtiene una distancia D hasta el objeto. Y la figura de la derecha muestra el instante '2' en el que el radar obtiene la distancia D+s hasta el mismo objeto. Con las distancias obtenidas y la diferencia de tiempos se puede obtener la velocidad.

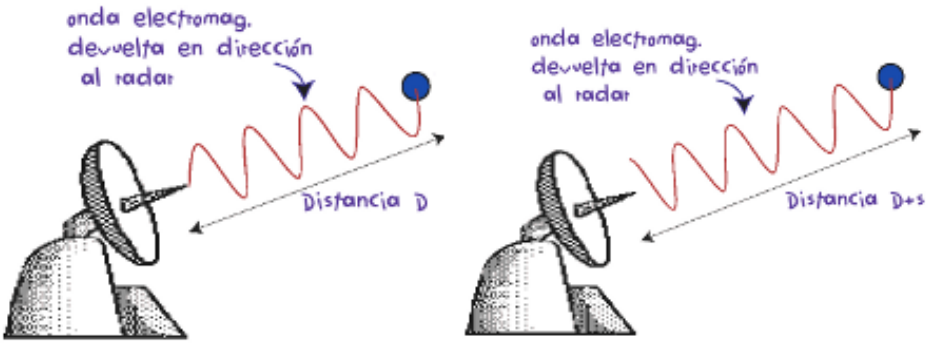


Figura 2.2: Radar Doppler

Los radares Doppler se utilizan en diversos sectores. Uno de ellos, el más conocido por la sociedad, es el control de la velocidad de los automóviles. Otro sector donde se usan estos radares es en la meteorología, a la hora de calcular la velocidad del viento. En este caso se detecta la velocidad de las partículas de lluvia que se hallan en el ambiente y se relaciona con la velocidad del viento. En este caso hay dos problemas, el primero de ellos es la poca uniformidad del viento. Y el segundo, es la necesidad de que existan gotas de lluvia en el ambiente, ya que el radar tiene que detectar partículas para conseguir medir la velocidad.

Actualmente se están desarrollando radares con tecnología UWB, 'Ultra Wide Band', para la detección de humanos detrás de paredes. Esta aplicación es útil en el rescate de cuerpos humanos bajo escombros o en la localización de personas en edificios en los que puede ser peligrosa su entrada.

Esta tecnología se basa en enviar señales de radio a una frecuencia muy alta, varios GHz, consumiendo muy poca potencia. Estas señales electromagnéticas se modifican al cambiar de medio de propagación, que puede indicar un muro o una persona por ejemplo. El cambio de la señal al propagarse por una persona es menor que cuando se propaga a través de un muro, por lo que cuando los ondas son reflejadas y las detecta el radar, se tiene que realizar un postprocesamiento de la señal para separar las dos ondas y de esta forma detectar si hay una persona o no.

2.3. Sónar

El Sónar es una técnica que usa la propagación del sonido, normalmente bajo el agua, como técnica de localización. Su uso más extendido es en la navegación, donde los barcos lo usan para detectar otras embarcaciones o para comunicarse entre ellos principalmente. Las siglas Sónar provienen del acrónimo inglés "SOund Navegation And Ranging".

El Sónar al contrario que el Radar, usa señales mecánicas en lugar de electromagnéticas. Este hecho es debido primordialmente a dos motivos:

- Al ser el agua del mar un buen conductor, se produce un amortiguamiento de las ondas electromagnéticas. Por lo que hay que aumentar bastante la potencia, o disminuir la frecuencia para que su uso fuese útil. Esto provocaría tener que usar antenas de mayores dimensiones.

- El sonido se propaga con mayor velocidad cuanto menos compresible sea el medio de transmisión. Por lo que en el agua se propagará a mayor velocidad que en el aire, que es un fluido más compresible.

Existen dos tipos de Sónar, el activo y el pasivo. El activo se compone de uno varios conjuntos de transmisores y receptores, aunque lo normal es el uso de sólo uno. El transmisor emite un conjunto de impulsos ultrasónicos que al chocar con un obstáculo se refleja, formando una señal de eco que es detectada por el receptor. El sónar pasivo sólo se compone de receptor, y es usado en aplicaciones militar o científicas para detectar cuerpos que transmitan sonido, como puede ser un banco de peces o un submarino.

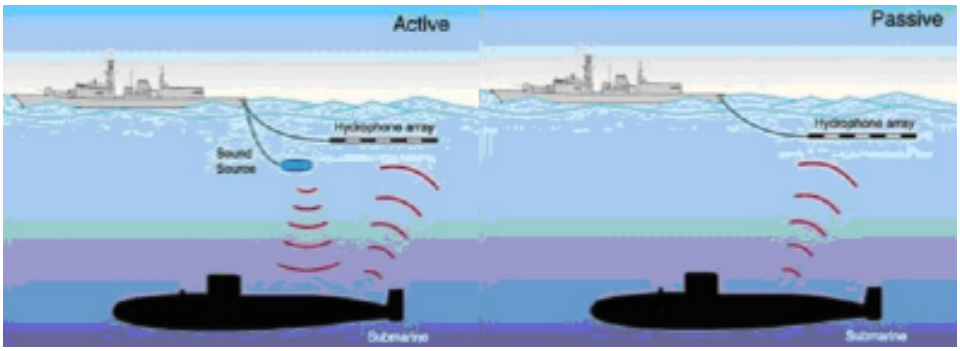


Figura 2.3: Izquierda: Sónar Activo Derecha: Sónar Pasivo

2.3.1. Aplicaciones Sónar

En el sector militar el Sónar tiene una multitud de aplicaciones como pueden ser los torpedos submarinos, las minas submarinas o en la vigilancia submarina. Se emite desde varias plataformas, como son submarinos, embarcaciones o aviones. Desde los aviones y las embarcaciones se suele usar Sónar activo, mientras que desde los submarinos se suele utilizar el Sónar pasivo. El primero de ellos emite mucho ruido y no se usa en submarinos ya que la posición desde donde se está emitiendo es fácilmente localizable. Los aviones y las embarcaciones usan el Sónar pasivo debido a la rapidez de los primeros y al ruido propio que emiten los segundos, ya que con estas características la identificación de la posición del Sónar es más complicada.

El sector civil también se aprovecha de las características del Sónar. Su uso está extendido en los buques pesqueros, donde gracias a su uso acompañado con el de otro tipo de sensores, son capaces de detectar bancos de peces. También es usado para calcular la velocidad relativa de los barcos respecto al agua y al fondo marino. En el sector científico se utiliza en la realización de estudios topográficos del fondo marino mediante Sónar de barrido lateral, en el estudio de la medida de las olas o en estudios arqueológicos subacuáticos entre otros.

En robótica su uso no está tan extendido como la tecnología Lidar. Ya que la información que el Sónar proporciona sobre el entorno no tiene la precisión necesaria para realizar trabajos en los que el rango de error debe de ser mínimo. Su utilización es más común en robots de ámbito experimental o académico, en el caso de desear que un robot se localice en una habitación o cree un mapa de la misma, sin demasiada exactitud y con un bajo coste[1].

[1] Un ejemplo de este uso se encuentra en el artículo: Robot Localization and Map Construction Using Sónar Data"de Vassilis Varveropoulos

Capítulo 3

Conceptos teóricos

En este capítulo se va a proceder a explicar el funcionamiento de los motores paso a paso y de los escáneres láser, Laser Range Finder.

3.1. Motores paso a paso

Los motores paso a paso son dispositivos electromecánicos que convierten impulsos eléctricos en desplazamientos angulares continuos. Esto significa que por cada pulso que se le aplica al dispositivo, éste se mueve unos ciertos grados (pasos), a diferencia de un motor convencional que se mueve continuamente mientras se le aplica corriente. El paso de estos motores suele variar desde 90° hasta 1,8°, de manera que pueden obtener movimientos de precisón bastante elevada.

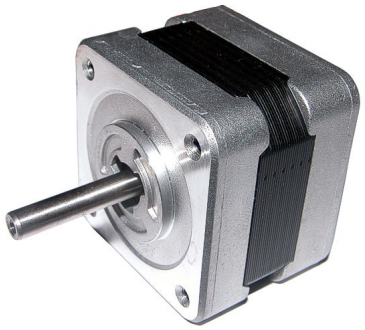


Figura 3.1: Motor paso a paso

Principio de funcionamiento

Este tipo de motor al igual que los de corriente continua están constituidos por un rotor, parte móvil, y un estator, parte fija. El estator está constituido por una serie de cavidades en las que se alojan unas bobinas, por las que pasa una corriente eléctrica para formar los polos norte-sur necesarios para mover el motor.

El rotor consiste en un imán, ya sea permanente o de reluctancia variable, con el mismo número de pares de polos que el contenido de una sección de la bobina del estator.

Figura 3.2: Rotor Motor paso a paso

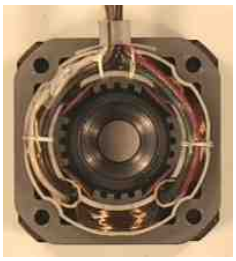


Figura 3.3: Estator Motor paso a paso

Para conseguir el movimiento del motor en un sentido u otro, las bobinas se tienen que energizar en el orden y frecuencia adecuada. Ésto se realiza por medio de controladores en los que se cargan programas encargados de enviar señales para excitar el estator.

Por último, una característica importante de este tipo de motores es la posibilidad de mantenerse en una posición fija cuando el motor no está girando, par de detención. Esto se da cuando una o mas de las bobinas están alimentadas. En cambio, si ninguna bobina está alimentada, el motor puede girar libremente.

Tipos de motores paso a paso

Existen dos tipos de motores que se van a explicar a continuación, los de imán permanente y los de reluctancia variable.

Imán permanente

Este tipo de motor posee un imán que crea el campo magnético necesario en la rotación. A su vez este tipo de motor paso a paso se divide en dos clases:

Motores paso a paso unipolares: son motores que tienen devanados duplicados, lo que ayudan a su control. Tienen dos bobinas en cada eje del estator unidas por extremos opuestos, lo que es llamado doble bobina. Lo cual hace que al ser alimentada cualquiera de las dos, se crea en cada una de ellas un campo magnético inverso al de la otra.

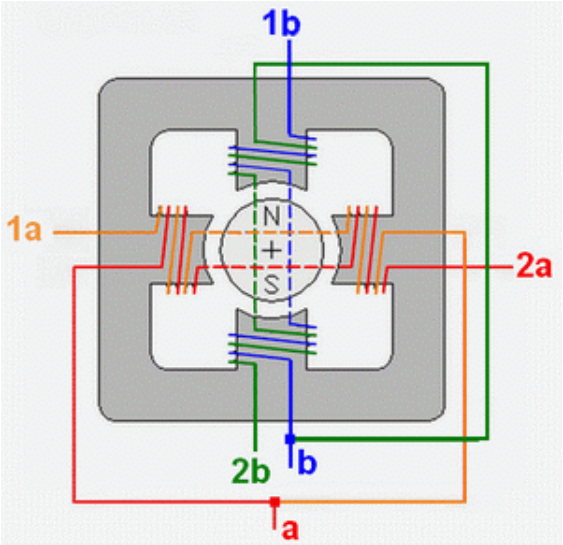


Figura 3.4: Distribución del bobinado en motor unipolar

Hay tres tipos de secuencias posibles para activar los motores paso a paso unipolares:

- Secuencia normal: es la secuencia más usada, y normalmente es la recomendada por el fabricante. En esta secuencia siempre hay dos bobinas activadas a la vez que proporcionan un par alto de paso y de retención.

- Secuencia wave-drive: en este tipo se activa sólo una bobina en cada paso provocando que el par de paso y de retención sea menor. Sin embargo se produce un movimiento más suave que con la secuencia normal.

- Secuencia de medio paso: en este tipo de secuencia se consigue un paso del motor igual a la mitad del paso real. Para ello primero se activan dos bobinas, y a continaución sólo una. Así sucesivamente.

Motores paso a paso bipolares: son motores que no tienen el doble bobinado de los unipolares. Por tanto necesitan un circuito de control más complejo para cambiar la dirección del flujo de las bobinas en la secuencia apropiada. De esta forma, cada inversión de polaridad realiza el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida. El circuito de control que se suele usar es un puente en H por cada bobina que tiene el motor.

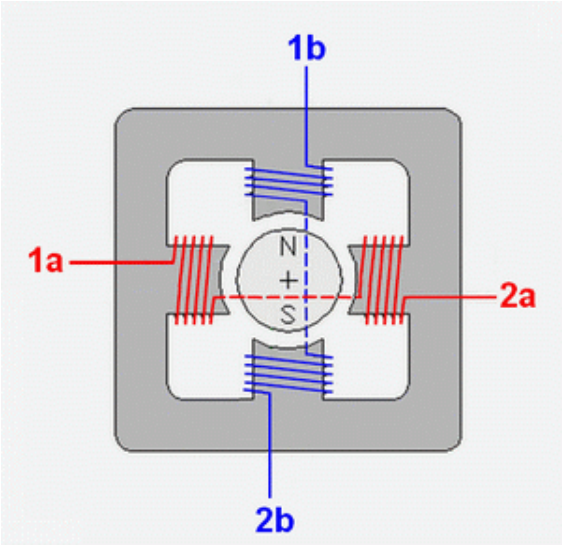


Figura 3.5: Distribución del bobinado en motor bipolar

A continuación se muestra una tabla que contiene la secuencia adecuada para controlar los motores paso a paso bipolares, en la que los terminales 'A', 'B', 'C' y 'D' se corresponden con los terminales '1a', '1b', '2a' y '2b' de la figura 3.5.

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Figura 3.6: Secuencia de activación motores paso a paso bipolares

Reluctacia variable

Son motores paso a paso simples de manejar, en los que su secuencia consiste en activar cada bobinado en orden. Son motores que cuando no están excitados, el rotor queda en libertad y por tanto no poseen par de detención. Esto implica que la posición en la que el motor se detiene no se puede conocer exactamente, y por lo tanto depende de la inercia que contenga el motor. El paso angular de este tipo de motores paso a paso suele ser de 15°.

3.2. Láser de localización de rangos

Término más conocido en inglés como 'Laser Range Finder'. A continuación se van a explicar las técnicas usadas para medir distancias entre sensores y objetivos. Estas técnicas difieren unas de otras en la precisión que tienen, aunque todas son necesarias para poder cubrir un amplio rango de medida, desde los poco milímetros hasta los cientos y miles de metros. Las tres técnicas que se van a explicar son 'tiempo de ida y vuelta de un pulso' 'medida del cambio de fase' y 'triangulación'.

Tiempo de ida y vuelta de un pulso

Esta técnica se usa para detectar puntos que distan mas de 100m del sensor obteniendo una precisión de varios centímetros. Se basa en medir el tiempo que tarda en ir y volver un pulso emitido, usando normalmente un láser semiconductor. Se suele asumir que el pulso emitido tiene una forma Gausiana, ya que es más real que suponer que el pulso tiene una forma rectangular.

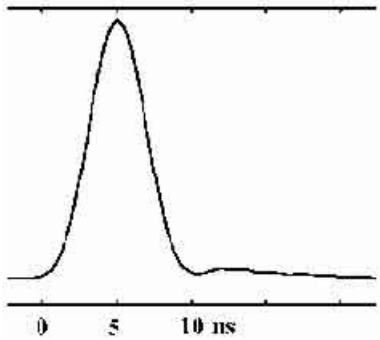


Figura 3.7: Pulso Gausiano

De la misma forma se asume que la energía de la onda sigue una distribución Gausiana con simetría circular y el diámetro del haz que se emite viene dado por la inversa del máximo de esa energía al cuadrado, $1/e^2$. El diámetro del haz aumenta con la distancia respecto al sensor, disminuyendo la precisión, siguiendo la relación $\gamma \cdot r$. Donde r es la distancia al sensor y γ es la supuesta divergencia del haz.

Se emite un haz que es transmitido por la atmósfera hasta que colisiona con algún elemento que se interpone en su trayectoria. Una vez que se ha producido la colisión, las ondas reflejadas que vuelven por la misma trayectoria que las emitidas son detectadas por un sistema compuesto de un filtro óptico y un fotodiodo. Una vez que las ondas son detectadas, se para un contador interior del láser, previamente activado en la emisión del haz, y se puede obtener la distancia a la que se encuentra el punto donde ha colisionado la onda mediante la relación $r = C_g \cdot \Delta t/2$. En la que Δt es el tiempo que tarda la onda en ser detectada por el sensor una vez que éste la ha emitido, y C_g es la velocidad de la luz.

Medida del cambio de fase

Esta técnica se usa para detectar puntos que distan del sensor hasta 100m, pudiendo obtener una precisión del orden de milímetros. Se basa en usar una onda láser continua como portadora de una señal modulada, normalmente en amplitud, y comparar la fase de la señal emitida y la recibida.

Usando la diferencia de fases en radianes, $\Delta\varphi$ se puede obtener la distancia al punto que el sensor ha detectado, mediante la expresión:

$$r = \Delta\varphi/(2\cdot\pi)\cdot\lambda/2 + \lambda/2\cdot n$$

En la expresión anterior λ es la longitud de onda en metros y n es el número, desconocido, de longitudes de onda completas entre el sensor y la superficie reflectante.

La precisión en la medida de este método es del 1 % de la fase. Ésta se puede mejorar, hasta llegar a rangos de ±1mm usando más de una longitud de onda modulada. La longitud de onda mayor definirá el alcance del sensor, mientras que la menor será la que defina la precisión en la medida.

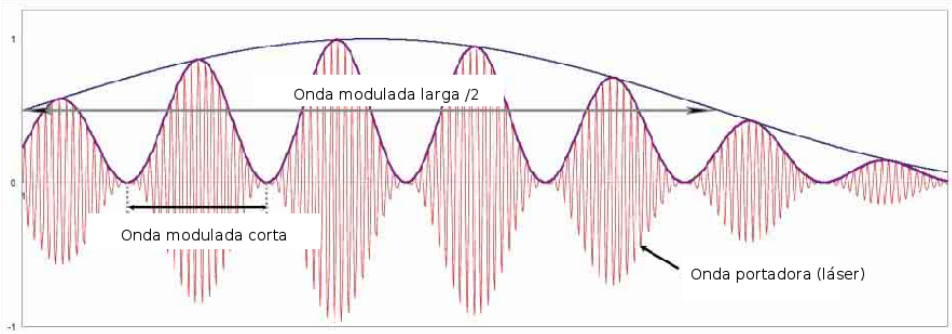


Figura 3.8: Dos longitudes de onda moduladas con onda portadora

Esta técnica tiene mayor precisión y rapidez que la descrita en la sección anterior, sin embargo tiene un rango de detección de objetos menor.

Triangulación

Es una técnica utilizada para detectar superficies dentro de un rango de 2 metros desde el láser, con una precisión mayor de ±1mm. Se basa en el uso de un espejo rotativo que se encarga de enviar el haz de luz, emitido por el láser, al espacio hasta que se encuentre con una superficie. Una vez que el haz se ha encontrado con ésta, la luz se dispersa hasta que es detectada por una video cámara que se encuentra a una distancia conocida del espejo rotativo.

Al colocar la cámara a una distancia conocida del espejo, y éste con un ángulo conocido respecto al láser, se pueden obtener las coordenadas de los

objetos detectados por medio de técnicas trigonométricas.

En la siguiente figura se puede observar el funcionamiento de la triangulación de forma esquematizada.

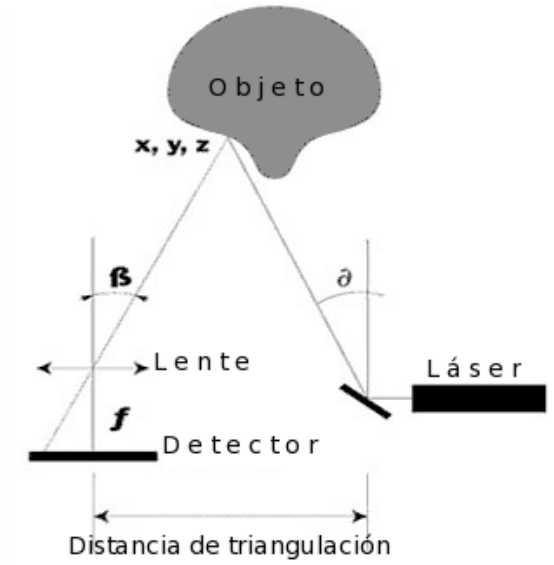


Figura 3.9: Esquema de la técnica de triangulación

Esta técnica es bastante restrictiva a la hora de intentar detectar objetos que se encuentren alejados del láser. Ya que para ello se tendría que alejar la cámara respecto del emisor, produciendose con ello una pérdida de precisión.

Sin embargo, es una técnica con la que se obtiene una gran cantidad de puntos por barrido en pocos segundos. El número de puntos detectados por barrido depende de la resolución de la cámara que se esté utilizando. Por ejemplo, con una resolución VGA estándar se pueden obtener aproximadamente 250.000 puntos por barrido del láser.

Capítulo 4

Hardware utilizado

En este capítulo se va a proceder a explicar el hardware que compone el láser motorizado sobre el que se basa este proyecto:

- Láser Hokuyo UTM-30lx
- Plataforma rotativa 8MR151
- Controladora Standa 8SMC1-USBhf-B1-1

4.1. Láser Hokuyo UTM-30lx

El láser **Hokuyo UTM-30lx** es el sensor de mayor gama que tiene la empresa Hokuyo, al ser el que tiene una mayor resolución angular y mayor velocidad de barrido. Es un sensor que tiene un rango de medida de hasta 30 metros, garantizando las características descritas por el fabricante que más adelante se mostrarán, por lo que se puede usar tanto para pequeñas (40cm) como para medias (25m) distancias.

Tiene un rango angular de 270°, en el que se pueden tomar 1080 medidas gracias a su precisión angular de 0,25°. Estas medidas se toman en un tiempo de 25ms gracias a la alta velocidad de rotación del motor del láser, 2400 rpm.

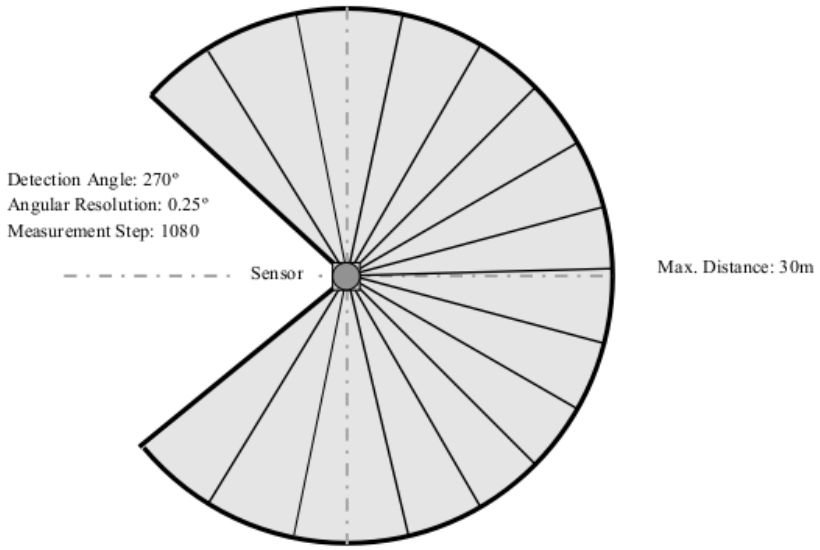


Figura 4.1: Rango medida UTM-30lx
[1]

A continuación se van a mostrar las características del sensor:[2]

- Alimentación: 12V ± 10 %.
- Comsumo de corriente: 0.7A, con un máximo de 1A.
- Rango de detección: Desde 10cm hasta 60m. Aunque sólo se garantizan las condiciones hasta 30m.
- Longitud de onda láser: 785nm de clase 1.
- Potencia consumida: Menos de 8W.
- Tiempo de barrido: 25ms. Velocidad de rotación del motor de 2400rpm.
- Amplitud de barrido: 270°.
- Resolución angular: 0,25°.
- Interface: USB 2.0.

[1] Imagen obtenida del catálogo del sensor UTM-30lx
[2] Más información en los Anexos

- Peso: 370g incluyendo el cable de alimentación y de conexión USB.

Figura 4.2: UTM-30lx
[1]

4.1.1. Interface

El láser Hokuyo tiene una interface compuesta por dos cables. El primero de ellos es un cable USB tipo A, que sirve para mantener la comunicación con el dispositivo al que el láser enviará los datos, en este caso un PC. El segundo de ellos es un cable robot que contiene cuatro señales, que son alimentación de +12V, 0V, 0V comunes para más de un sensor y la salida síncrona.

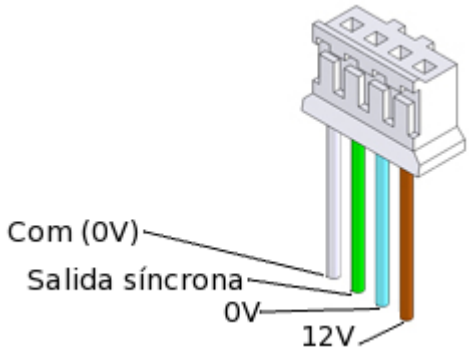


Figura 4.3: Alimentación UTM-30lx

[1]Fuente: http://www.hokuyo-aut.jp/

Ahora se va a explicar la señal de salida síncrona, la cual sirve para comprobar si el sensor está funcionando de manera correcta. Mientras que el láser está realizando un barrido (24ms) esta señal está a nivel alto (ON), y cuando el barrido ha finalizado la señal cambia a nivel bajo (OFF) durante 1ms. Si el láser está funcionando de manera incorrecta la señal de salida síncrona estará en un nivel bajo.

En la siguiente imagen se puede ver en que rango de grados está la señal a nivel bajo, y en que rango a nivel alto. También se puede observar como funciona la señal de la que estamos hablando:

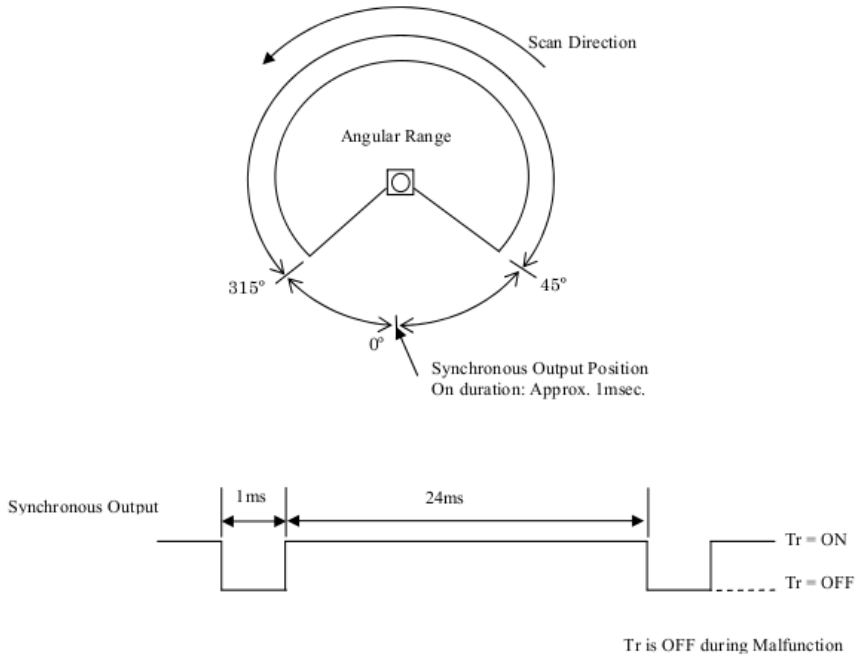


Figura 4.4: Salida síncrona
[1]

[1]Fuente: catálogo del sensor UTM-30lx

4.1.2. Protocolo de comunicación

El láser Hokuyo 30-lx se comunica con los dispositivos por medio del protocolo estándar SCIP 2.0. Este protocolo fue desarrollado por un grupo de investigación perteneciente a la universidad de Tsukuba [1]. Este protocolo se desarrolló para obtener mayor flexibilidad y eficiencia a la hora de usar aplicaciones destinadas a la robótica.

Para aumentar la rapidez en la transmisión de datos, éstos son codificados por el sensor, y decodificados cuando llegan al dispositivo correspondiente antes de procesarlos. Los datos puede ser codificados de tres maneras diferentes según el tamaño de los mismos:

- Codificación de dos caracteres. Longitud máxima de los datos de 12 bits.
- Codificación de tres caracteres. Longitud máxima de los datos de 18 bits.
- Codificación de cuatro caracteres. Longitud máxima de los datos de 24 bits.

Codificación

Las tres codificaciones siguen el mismo método. Los datos obtenidos por el sensor, en sistema binario, se separan en grupos de 6 bits. Cada grupo de 6 bits se convierte a sistema hexadecimal para luego sumar 30H a cada grupo. Una vez que se ha realizado la suma se transforma cada valor a su carácter ASCII correspondiente.

Se va a ilustrar la codificación por medio de un ejemplo de codificación de tres caracteres. Si por ejemplo el sensor ha adquirido el dato 5,432mm en sistema binario sería 1010100111000_2 los paso a seguir en la codificación serían:

1. Separación: 000001_2 010100_2 111000_2
2. Conversión a sistema hexadecimal: 1H 14H 38H
3. Suma de 30H: 31H 44H 68H
4. Equivalencia en código ASCII: 1 D h

[1] http://www.roboken.esys.tsukuba.ac.jp

Decodificación

La decodificación se realiza una vez que los datos han sido transferidos desde el sensor al dispostivo que los va a tratar. La decodificación de las tres codificaciones mencionadas anteriormente se realiza de la misma manera. Hay que seguir el proceso inverso a la codificación. Con lo que primeramente se convierten los carácteres ASCII a su enumeración hexadecimal correspondiente. A continuación se le resta 30H a cada número para posteriormente realizar la conversión de los mismos a sistema binario. Una vez que están los grupos de 6 bits en sistema binario se unen y finalmente se convierte a sistema decimal.

A continuación se muestra la decodificación del ejemplo anterior, en el que después de la codificación se habían obtenido los carácteres ASCII 1 D h.

1. Conversión a sistema hexadecimal: 31H 44H 68H
2. Resta de 30H: 1H 14H 38H
3. Conversión a sistema binario: 000001_2 010100_2 111000_2
4. Unión de los grupos de 6 bits: 000001010100111000_2
5. Conversión a sistema decimal: 5,432

Formato de comunicación

La comunicación entre el sensor y cualquier dispositivo tiene que realizarse por medio de comandos que hayan sido predefinidos anteriormente. Y además esos comandos se tienen que enviar con un formato también predefinido. El protocolo SCIP2.0 tiene sus comandos y sus formatos establecidos.

El sensor sólo puede responder a las peticiones del dispositivo de una en una de forma progresiva, aunque éste envie múltiples peticiones a la vez. En el caso de que las peticiones múltiples enviadas a la vez por el dispositivo sean del mismo tipo (mismos comandos), el sensor sólo responderá a la primera petición de forma correcta. A las demás peticiones el sensor responderá con un error.

En la comunicación entre sensor y dispositivo el primer paso es la petición de una acción por parte del dispositivo al sensor. Esta petición se hace

de forma predefinida, como se ha comentado anteriormente, y se llama **comando**. Este **comando** tiene información relativa a la petición que el sensor va a procesar. Además esta información está dividida en campos como se verá más adelante.

El segundo paso en la comunicación es la contestación del sensor al dispositivo. Esta contestación, al igual que la petición, tiene una forma predefinida. En este caso se llama **respuesta** y se compone del **comando**, que ha enviado el dispositivo, y de un conjunto de bytes que contienen información relativa a la contestación.

La siguiente figura muestras como están estructurados el **comando** y la **respuesta**:

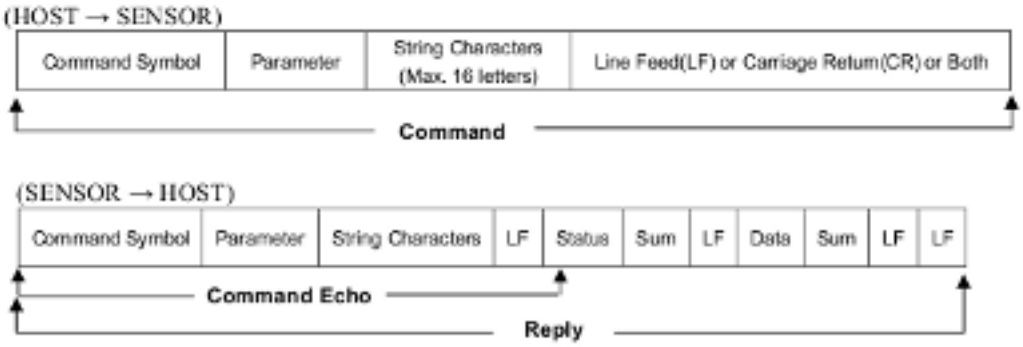


Figura 4.5: Estructura del comando y la respuesta en la comunicación láser [1]

Ahora se van a explicar cada uno de los campos que se han mostrado anteriomente [2]:

- Command symbol: Son 2 bytes específicos para cada tipo de comando que se encuentran al principio de cada uno de ellos.
- Parameter: en este campo se encuentra información para cambiar los parámetros del sensor o bien para pedir datos adicionales.

[1] Fuente: catálogo del sensor UTM-30lx

[2] Los campos se van a nombrar en inglés al igual que en el manual del protocolo para no introducir confusiones

- String character: es información adicional, que se usa para verificar la **respuesta** cuando un comando se ha repetido más de una vez.
- Line Feed (LF) o Carriage return (CR): Son códigos que se usan para finalizar tanto el **comando** como la **respuesta**.
- Status: es un campo de 2 bytes que se usa en la **respuesta** para informar sobre el correcto funcionamiento en el caso de que el comando correspondiente sea valido, o sobre errores si los comandos no están definidos o no son válidos. Sólo son válidos los códigos '00' y '99', los demás son errores.
- Sum: es un campo de 1 byte que se usa a la hora de autentificar.
- Data: este campo contiene la información principal sobre el **comando**.

Comandos

El protocolo de comunicaciones SCIP2.0 admite trece tipos de comandos, mediante los cuales el sensor y el dispositivo intercambian datos.

1. **Comando MDMS**: es un comando de adquisición de datos. Cuando el sensor recibe este comando el campo 'Status' de la **respuesta** contiene el código '00' seguido de los datos tomados en la medida por el sensor. El campo 'Command symbol' contendrá 'MD' o 'MS' si los datos están en codificación de tres caracteres o de dos caracteres respectivamente. La estructura de este comando contiene campos en los que se especifica el punto de partida y de fin del barrido, además del número de barridos a realizar. Al ejecutar este comando el láser se enciende automaticamente antes de realizar la medida, y se apaga una vez que se han realizado el número de barridos requeridos.
2. **Comando GDGS**: al igual que el comando **MDMS**, es un comando de adquisición de datos, con la diferencia de que este comando sólo devuelve los datos de la última medida realizada, por lo tanto para obtener datos de 'n' barridos hay que ejecutarlo 'n' veces. El campo 'Command symbol' contendrá 'GD' o 'GS' si los datos están en codificación de tres caracteres o de dos caracteres respectivamente. La estructura de este comando contiene campos en los que se especifica el punto de partida y de fin del barrido. Si al ejecutar este comando el láser está apagado hay que encenderlo por medio del comando **BM**, y una vez finalizada la medida apagarlo por medio del comando **QT**.

3. **Comando BM**: cuando se ejecuta este comando se habilita el sensor para tomar datos. El estado del láser se puede comprobar mediante el LED verde que tiene. Si éste parpadea rápidamente significa que el láser está apagado, mientras que si se mantiene encendido continuamente significa que el láser está encendido.

4. **Comando QT**: Este comando disabilita el sensor, impidiendo realizar medidas.

5. **Comando RS**: Este comando restaura todos los ajustes que se han cambiado desde que se ha encendido el láser.

6. **Comando TM**: Con este comando se ajusta el tiempo de transmisión entre el sensor y el dispositivo. Para ello el sensor tiene que estar encendido. Si se envían varios comandos **TM**, variando la longitud de los datos contenidos en el campos 'String characters' , se puede puede obtener la velocidad de transmisión de datos entre dispositivo y sensor haciendo una media de los tiempos obtenidos.

7. **Comando SS**: Este comando cambia la velocidad de comunicación del sensor cuando está conectado con RS232C. Las diferentes velocidades que este protocolo admite, con sus respectivos códigos son:

   - 19.2 Kbps (019200)
   - 38.4 Kbps (038400)
   - 57.6 Kbps (057600)
   - 115.2 Kbps (115200)
   - 250 Kbps (250000)
   - 500 Kbps (500000)
   - 750 Kbps (750000)

8. **Comando CR**: Este comando permite cambiar la velocidad del motor del sensor. [1]

9. **Comando HS**: Este comando permite cambiar la sensibilidad del sensor entre alta y normal. La sensibilidad alta incrementa en un 20 % la precisión del sensor para detectar puntos. Aunque puede introducir errores con objetos de alta reflectividad que se encuentren a menos de 22 metros del sensor.

[1] El UTM 30-LX no es compatible con este comando, por lo que no se puede usar en este proyecto.

10. **Comando DB**: Este comando simula un funcionamiento erróneo del láser.

11. **Comando VV**: Este comando permite al sensor devolver al dispositivo detalles de su versión, como por ejemplo el número de serie o el protocolo que está usando.

12. **Comando PP**: Este comando devuelve al dispositivo las especificaciones del láser. Éstas con sus respectivos códigos devueltos por el sensor son:

    - MODL: modelo del láser.
    - DMIN: distancia mínima que puede obtener el sensor [mm].
    - DMAX: distancia máxima que puede obtener el sensor [mm].
    - ARES: número de medidas posibles en un rango de 360°.
    - AMIN: primer punto, en la circunferencia del sensor, donde se pueden tomar datos.
    - AMAX: último punto, en la circunferencia del sensor, donde se pueden tomar datos.
    - AFRT: punto frontal de la circunferencia del sensor.
    - SCAN: velocidad del motor del láser [rpm].

13. **Comando II**: Este comando devuelve al dispositivo el estado del sensor durante su funcionamiento. Los parámetros que envía el sensor, junto con sus códigos son:

    - MODL: modelo del láser.
    - LARS: estado de la iluminación del láser.
    - SCSP: velocidad del motor.
    - MESM: modo de toma de datos.
    - SBPS: velocidad para RS232C.
    - TIME: tiempo de funcionamiento.
    - STAT: estado de funcionamiento del sensor.

4.1.3. Seguridad del Láser

Todo sensor Láser tiene un tipo de clase, la cual se refiere directamente al grado de peligrosidad que supone la utilización del dispositivo. Los factores que principalmente definen la clase de un láser son la longitud de onda, la duración de la emisión y la potencia emitida por el dispositivo. A continuación se muestra una tabla con las diferentes clases y los valores de los diferentes factores según los cuales se dividen las clases.

Clase	Longitud de onda	Tiempo exposición al haz	Potencia / energía haz
Clase I	Desde 0 nm. – 13.000 nm.	Se presupone "intrínsecamente seguro", pero debe evitarse.	Como máximo, 10^{-3} W.
Clase II	Desde 400 nm. – 700 nm.	Expos. ocular: 0,25 segundos. Proteger el ojo.	Entre 10^{-6} W y 10^{-3} W.
Clase III a	Desde 0 nm. – 13.000 nm.	Expos. ocular: debe evitarse por completo. Proteger el ojo. Expos. dérmica: evitar.	Desde 10^{-9} W hasta 0,5 W aprox.
Clase III b	Desde 0 nm. – 13.000 nm.	Debe evitarse por completo. Proteger el ojo. Expos. dérmica: proteger.	Desde 10^{-9} W hasta 0,5 W aprox.
Clase IV	Desde 0 nm. – 13.000 nm.	Debe evitarse por completo.	Desde 0,75 W hasta 10 W aprox.

Figura 4.6: Clase de láser según su longitud de onda, tiempo de exposición y potencia emitida

El sensor del láser Hokuyo tiene Clase I FDA CFR 1040.1 y 1040.11. Según la norma UNE-EN 60825-1/A-11, la cual clasifica los productos láser, la clase 1 corresponde a éstos que son seguros en todas las condiciones de utilización razonablemente previsibles. Esta clase 1 junto a la clase 2, según la norma, se deben utilizar cuando un producto láser esté destinado para fines educacionales, en exibiciones con fines de entretenimiento o en las aplicaciones topográficas, de alineación y nivelación.

La norma también define como debe estar indicada la clase en cada producto láser en función de su clase. Para la clase I es suficiente con que exista una etiqueta que contenga "Producto Láser Clase I". En el sensor Hokuyo UTM-30lx está indicada en un lateral del mismo.

4.1.4. Calibración del sensor

Según el fabricante del sensor (Hokuyo), éste tiene un error de ± 30mm o ± 50mm dependiendo de las condiciones de luz en el momento de la toma de datos [1] para distancias desde los 10mm hasta los 10m, sin embargo no explica los posibles errores para distancias mayores a los 10m. Por lo que se ha decidido realizar un estudio sobre el error que puede tener el sensor cuando realiza una medida a más de 10m de distancia, y si en las distancias comprendidas entre 10mm y 10m hay variaciones en el error indicado.

Para ello, con el sensor se han tomado un cojunto de datos, 990 muestras, de cada distancia a estudiar, y con ellas se ha analizado que distribución estadística siguen mediante una toolbox de la aplicación Matlab. Una vez que se ha determinado la distrución estadística a la que se ajustan las muestras, se puede obtener una buena aproximación del error que tiene el sensor en cada distancia estudiada.

A continuación se van a exponer los distintos modelos estadísticos obtenidos para los distintos casos estudiados, que son:

- Caso 1: Distancia entre 9 y 10 cm
- Caso 2: Distancia entre 70 y 80 cm
- Caso 3: Distancia entre 2 y 2,5 m
- Caso 4: Distancia entre 12 y 14 m
- Caso 5: Distancia mayor a los 30 m

[1] Mirar Anexo

Caso 1

Para este caso se han tomado datos de la distancia marcada en la siguiente imagen.

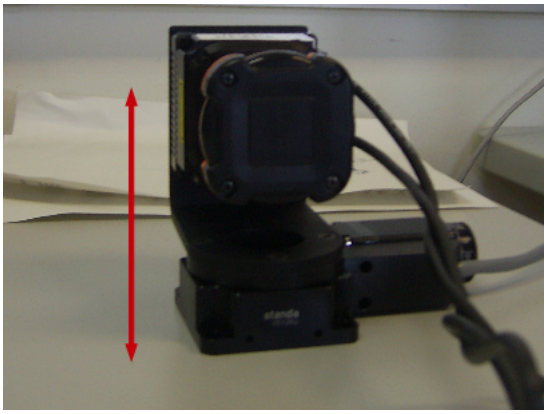


Figura 4.7: Sensor tomando medidas para el caso 1

Los datos obtenidos se aproximan a una distribución normal, con una media de **93.37mm** y una varianza de **14.95mm**. Con estos resultados se puede decir que el error para una medida que esté en torno a los 10cm es de ±15mm. Lo que significa que la medida que el sensor devuelve puede variar hasta un 16.01 % respecto a la real. A continuación se muestra como los datos tomados en este caso se ajustan a una distribución normal.

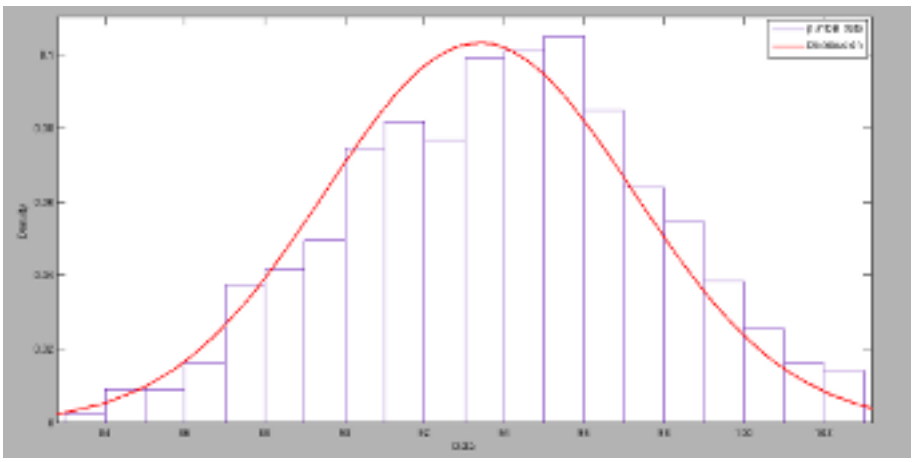


Figura 4.8: Modelo estadístico caso 1

Caso 2

Para este caso se han tomado datos de la distancia marcada en la siguiente imagen.

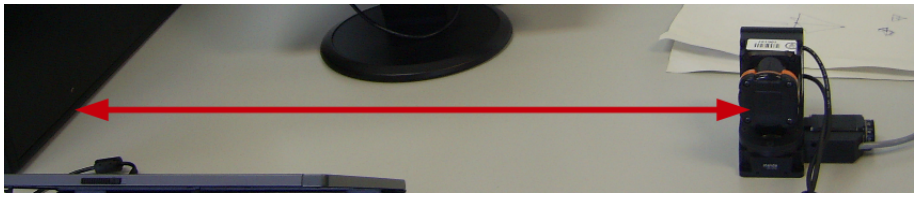


Figura 4.9: Sensor tomando medidas para el caso 2

Los datos obtenidos se aproximan a una distribución normal, con una media de **781.85mm** y una varianza de **18.85mm**. Con estos resultados se puede decir que el error para una medida que esté en torno a los 80cm es de ±19mm. Lo que significa que la medida que el sensor devuelve puede variar hasta un 2.41 % respecto a la real. A continuación se muestra como los datos tomados en este caso se ajustan a una distribución normal.

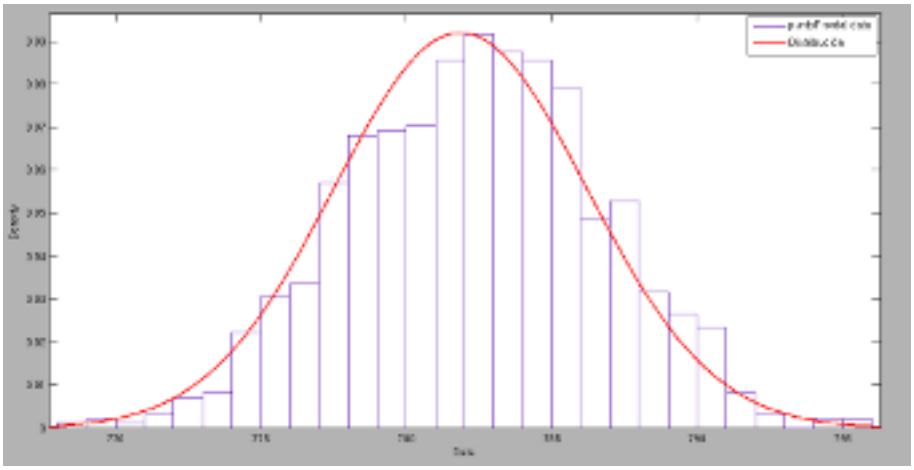


Figura 4.10: Modelo estadístico caso 2

Caso 3

Para este caso se han tomado datos de una distancia aproximada a dos metros y medio.

Los datos obtenidos se aproximan a una distribución normal, con una media de **2419mm** y una varianza de **17.32mm**. Con estos resultados se puede decir que el error para una medida que esté en torno a los 2.5m es de ±17mm. Lo que significa que la medida que el sensor devuelve puede variar hasta un 0.72 % respecto a la real. A continuación se muestra como los datos tomados en este caso se ajustan a una distribución normal.

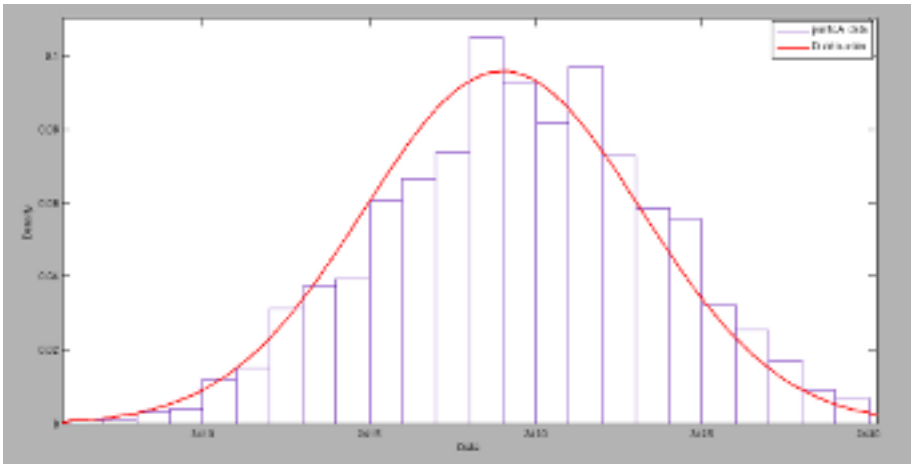


Figura 4.11: Modelo estadístico caso 3

Caso 4

Para este caso se han tomado datos de la distancia marcada en la siguiente imagen.

Figura 4.12: Sensor tomando medidas para el caso 4

Los datos obtenidos se aproximan a una distribución normal, con una media de **13411mm** y una varianza de **34.81mm**. Con estos resultados se puede decir que el error para una medida que esté en torno a los 15m puede ser de ±35mm. Lo que significa que la medida que el sensor devuelve puede variar hasta un 0.26 % respecto a la real. A continuación se muestra como los datos tomados en este caso se ajustan a una distribución normal.

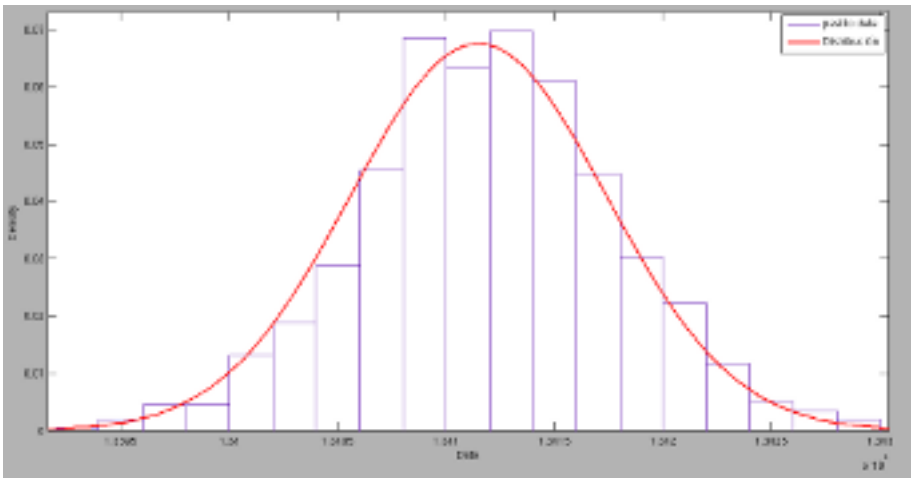


Figura 4.13: Modelo estadístico caso 4

Caso 5

Para este caso se han intentado tomar datos de puntos que estaban a una distancia bastante superior a los 30 metros, y el resultado obtenido ha sido nulo. Ya que el sensor ha sido incapaz de devolver ningún valor, sólo devolvió error. A continuación se muestra la distancia de la que se intentó tomar datos.

Figura 4.14: Sensor tomando medidas para el caso 5

Conclusiones de la calibración

Una vez que se han estudiado diferentes distancias del sensor a una superficie determinada, se puede comprobar que el error relativo que introduce el sensor en la medida aumenta mucho según el sensor se acerca a la superficie. Mientras que cuando la distancia entre el sensor y la superficie aumenta, el error relativo disminuye considerablemente, hasta un 0.26 % en los estudios realizados.

Por lo tanto, cuando se realice un barrido de puntos habrá que tener en cuenta los errores estudiados anteriormente para no que se obtengan resultados con más error del que se desea en cada medida. Por ejemplo, si se desean obtener medidas con errores posibles por debajo del 1 %, los objetos tendrían que estar en un rango de distancias entre los 2m y los 30m respecto al sensor.

4.2. Plataforma rotativa Standa 8MR151

La plataforma rotativa **8MR151** consiste en un motor paso a paso y un soporte giratorio, en el que se acopla el Láser Hokuyo URG 30-lx previamente explicado.

El motor paso a paso, el **ST2828M1006**[1], es un motor bipolar de 200 pasos, cada uno de ellos de 0.6 minutos de grado. Se puede obtener una resolución máxima de 1/8 de paso, que se traduce en 4.5 segundos de grado. La siguiente figura muestra la plataforma rotativa:

Figura 4.15: Motor paso a paso 8MR151
[2]

A continuación se muestran las características técnicas de la plataforma:[3]

- Rango de rotacion: 360°.
- Velocidad máxima de rotación: $50°/s$.
- Excentricidad: 10μm.
- Capacidad de carga horizontal: 6 kg.
- Capacidad de carga radial: 1.7 kg.
- Par: 0.5 Nm.

[1]Más información en Anexos
[2]Fuente: página web del fabricante http://www.standa.lt
[3]Más información en Anexos

- Conector: DB15
- Peso: 0.56 kg.

La velocidad máxima que puede obtener la plataforma rotativa depende del paso con el que esté trabajando el motor paso a paso en cada momento. La siguiente lista muestra las velocidades máximas en función del paso:

- Paso completo: velocidad máxima de $50°/s$.
- Medio paso: velocidad máxima de $25°/s$.
- Cuarto de paso: $12{,}5°/s$.
- Octavo de paso: $6{,}25°/s$.

4.3. Controladora Standa(8SMC1-USBhf-B1-1)

Es un dispositivo diseñado para controlar motores paso a paso bipolares, como el mencionado en la sección anterior. Este control y su seguimiento se realiza por medio de una interface USB desde un ordenador.

Figura 4.16: Controladora 8SMC1-USBhf-B1-1

La conexión USB realiza dos funciones. Por un lado se encarga de controlar los parámetros del motor paso a paso, como posición, aceleleración, velocidad, dirección de rotación, etc. Por otra parte se encarga de alimentar, con 5V, los circuitos de la controladora. Además permite conectar hasta 30

dispositivos en estrucura de árbol, sin necesidad de 'hubs' adicionales.

La controladora se encarga de la alimentación y comunicación con el motor paso a paso. Esto se realiza por medio de un conector de 15 pines D-sub (hembra). Esta alimentación puede ser desde los 7 a los 40 V, dependiendo del tipo de motor, con una corriente máxima soportada por la controladora de 1.5A. A continuación se muestra el conector de 15 pines D-sub, con su correspondiente cableado.

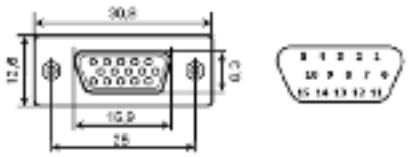


Figura 4.17: Conector de 15 pines D-sub

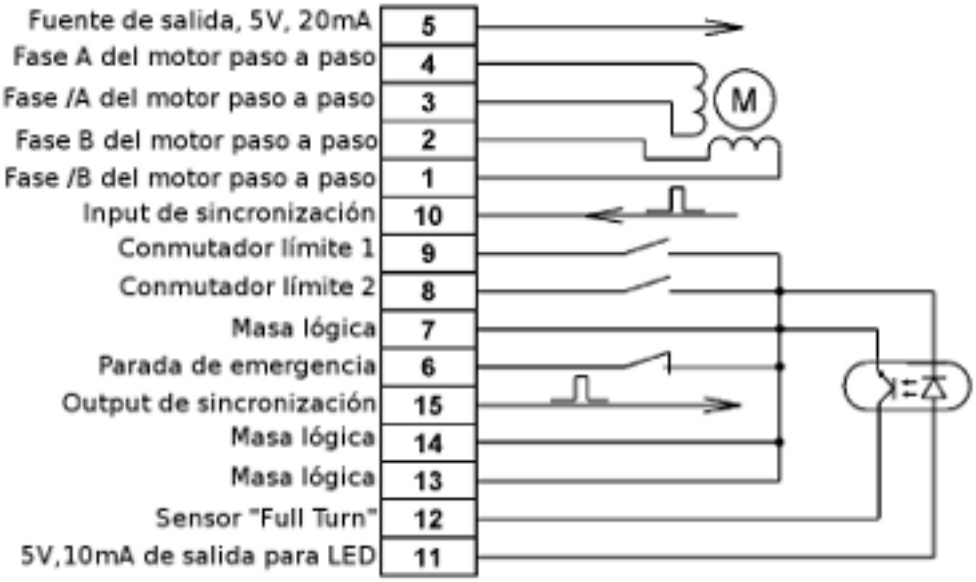


Figura 4.18: Cableado del conector D-sub

Características y especificaciones

Las características principales de la controladora relacionadas con el movimiento del motor son:

- Resolución permitida: paso completo, 1/2 de paso, 1/4 de paso y 1/8 de paso.
- Velocidad programable, desde 2 pasos/s hasta 5000 pasos/s.
- Posición de destino, tanto absoluta como relativa, programable.
- Rampas de aceleración y deceleración programables.
- Posibilidad de realizar un arranque de motor y una parada suave para evitar daños en el mismo.

A continuación se muestran las especificaciones eléctricas de la controladora:

- Tensión máxima de salida: 38V.
- Máxima corriente media por fase: 1.5A.
- Máxima corriente de pico por fase: 2.5A.
- Potencia máxima que puede disipar: 6W.

Conectividad y programación

La controladora está diseñada para trabajar bajo las siguientes plataformas: Windows 2000, Windows XP, Windows Vista y Windows Mobile 5.0 o superior. La controladora soporta dos tipos distintos de drivers para cada una de las plataformas mencionadas. Uno de ellos, el 'NI VISA driver', sirve para controlar manualmente cualquier dispositivo conectado a la plataforma utilizando la aplicación gráfica SMCVieW. Gracias a ella se pueden modificar rápidamente los parámetros del dispositivo con el que se esté trabajando y observar los resultados.

El segundo driver que soporta la controladora es el 'MicroSMC', gracias al cual es posible programar la misma en varios lenguajes, tales como C,

C++, Basic o Matlab entre otros. Además de estos lenguajes, existe la posibilidad de realizar la programación por medio de LabVIEW.[1]

El uso de uno u otro de los drivers se debe realizar por separado, por lo que sólo se puede tener instalado uno de ellos.

4.4. Montaje total

Una vez que se ha explicado cada uno de los elementos hardware que intervienen en este proyecto, a continuación se explican la conexiones entre cada uno de ellos y con las fuentes de alimentación correspondientes. En primer lugar se ilustran las conexiones relativas a la controladora.

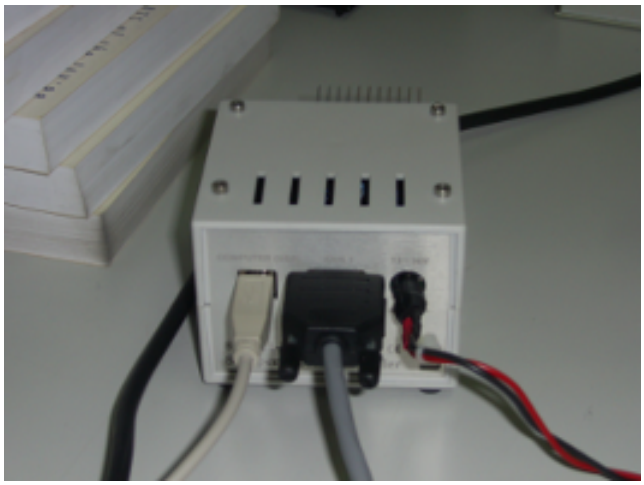


Figura 4.19: Controladora con conexiones

La conexión de la izquierda corresponde con el cable USB 2.0 que debe ir conectado al ordenador encargado de manejar y alimentar la controladora. En el centro de la figura se muestra el conector de 15 pines D-sub, el cual se encuentra unido al motor paso a paso. Por último, la conexión situada en la derecha de la controladora corresponde con el cable de alimentación de la misma. Éste tiene dos cables de salida, uno rojo que se debe conectar al

[1] Herramienta gráfica creada por, National Instruments, usada para la realización de pruebas, control y diseño mediante la programación. Usa un lenguaje llamado 'lenguaje G' debido a su entorno gráfico. Más información en http://www.ni.com/labview/esa/

borne rojo de una fuente de alimentación y uno negro que se debe conectar al borne negro.

El láser debe estar conectado al ordenador por medio de un cable USB 2.0, y a una fuente de alimentación por medio del cable robot.[1]. La fuente de alimentación que se ha utilizado en este proyecto es el modelo TXL 060-0534TI de TRACO POWER. Es una fuente con tres salidas de tensión diferentes, aunque para alimentar el láser se debe usar la salida dos, que proporciona una tensión de 12V con una corriente máxima de 1.5A. La salida positiva de la fuente se conecta al cable marrón del cable robot, y la salida negativa al cable azul.

A continuación se muestra la fuente de alimentación que ha sido descrita.

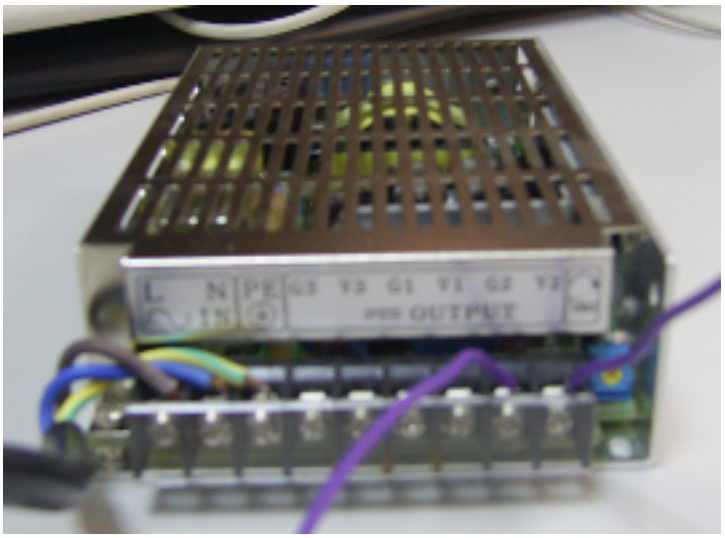


Figura 4.20: Fuente para alimentar láser Hokuyo

[1]Este cable se encuentra explicado en la sección 4.1.1

Capítulo 5

Resultados

En este capítulo se muestran los resultados que se han obtenido al realizar los barridos láser y su posterior procesamiento para obtener entornos en tres dimensiones. La disposición del láser y la plataforma rotativa se puede observar en la figura 5.1, donde el ángulo muerto del láser se encuentra apuntando hacia la plataforma rotativa.

Al ir realizando las pruebas, se ha ido alternando el desplazamiento angular de la plataforma rotativa entre un grado y medio grado, de forma que se pueda observar la diferencia de detalle en las imagen 3D construidas. Ese cambio en el desplazamiento angular, al igual que en la velocidad angular, se realiza mediante software. Para ello se han realizado unas transformaciones en el código que permiten seleccionar fácilmente el número de grados a mover, al igual que la velocidad angular del motor paso a paso sin tener que conocer la relación 'pasos del motor-grados de la plataforma'. Sin embargo, para tener mayor información al respecto se muestra la relación mencionada:

- Paso completo - 0,6'
- Medio paso - 0.3'
- Cuarto de paso - 9"
- Octavo de paso - 4,5"

A la hora de representar el entorno barrido por el láser, en tres dimensiones, sólo se han usado los datos tomados por la mitad del rango angular de barrido, 135°. Ya que si se usa todo el rango de barrido, 270°, la imagen

puede contener una densidad de objetos demasiado alta que dificulte su interpretación. La elección del rango de barrido que se desea utilizar se realiza tomando los datos de los 270°, y posteriormente se guardan sólo los que se desean utilizar. Esto se realiza de este modo debido a que el láser no facilita la opción de elegir el rango de barrido, y por tanto siempre barre los 270°.

Para conseguir obtener los entornos en tres dimensiones deseados hay que conocer previamente el punto correspondiente al cero del láser. Éste se encuentra en la parte del láser pintada de color rojo en la figura 5.1 que a su vez corresponde con la cara del láser donde se encuentra el cable robot[1].

Figura 5.1: Disposición láser

En la toma de datos, la plataforma rotativa se desplaza el número de grados deseados (normalmente uno o medio grado), se para un cierto tiempo para que el láser realice el barrido y vuelve a iniciar el movimiento. Esta secuencia se repite tantas veces sean necesarias para cubrir el número de grados totales que debe moverse la plataforma. Cada vez que el motor paso a paso se detiene, se le envía un comando por software que establece ese punto como posición cero o inicial. Es un método por el cual siempre se tiene controlado el cero del motor.

[1]Este cable está explicado en la sección 4.1.1

5.1. Entornos 3D

En las siguientes secciones se van a mostrar distintos entornos en tres dimensiones obtenidos con el Láser Hokuyo UTM-30lx. Estos entornos se han creado mediante la herramienta MATLAB, una vez que se han tomado los datos con el software desarrollado en lenguaje C.

Armarios de laboratorio I

- Campo de visión: 90°
- Rango de barrido: 135°
- Paso angular del motor: 1°

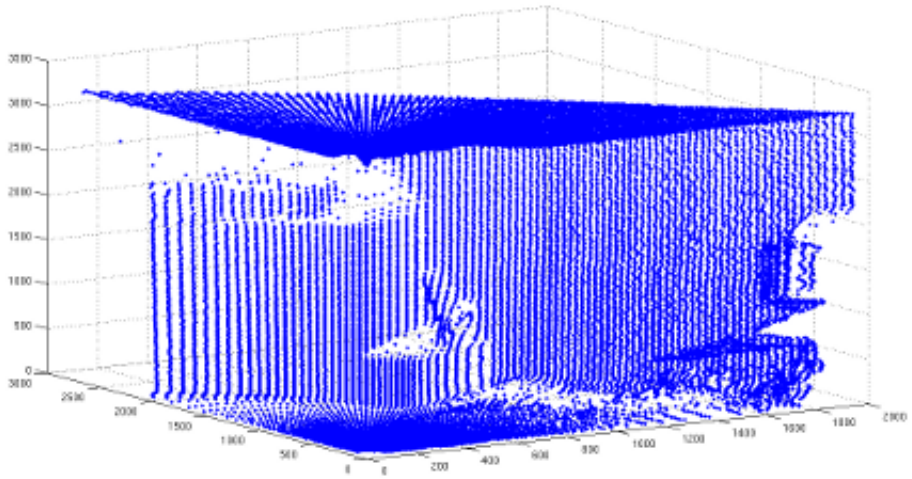


Figura 5.2: Entorno 3D de armarios de laboratorio I

Figura 5.3: Imagen armarios laboratorio real, parte superior

Figura 5.4: Imagen armarios de laboratorio real, parte inferior

Si se compara la figura 5.2 con las figuras 5.3 y 5.4 se puede comprobar que en el entorno 3D aparece el armario junto con la caja de cartón que se encuentra a su derecha. Encima de la caja de cartón se pueden observar unas lineas que no son verticales, como las que representan los armarios. Esas líneas corresponden a las dos piezas de madera que se encuentran in-

clinadas. En la parte superior del armario se pueden observar unas líneas verticales que corresponden a torres de ordenador, como se puede comprobar en la figura 5.3. A la derecha de la imagen 5.2 a media altura se puede ver una forma cúbica correspondiente a la caja situada encima de la mesa. En la parte inferior de esa caja, en la figura 5.2 no se puede distinguir nada debido a que la densidad de objetos en esa zona es demasiado elevada.

Armarios de laboratorio II

- Campo de visión: 90°
- Rango de barrido: 135°
- Paso angular del motor: 0,5°

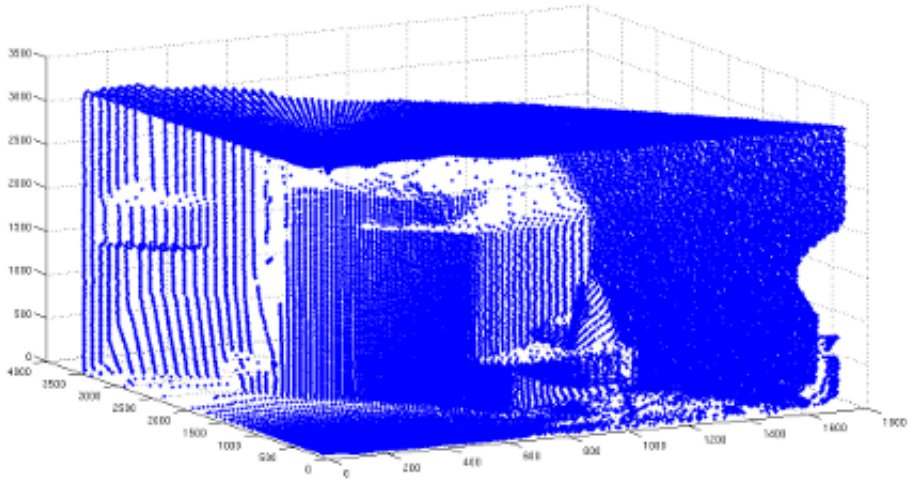


Figura 5.5: Entorno 3D de armarios de laboratorio II

Comparando la figura 5.2 con la 5.5, se observa un mayor nivel de detalle en esta última, ya que el paso angular del motor entre barrido es la mitad que en la primera figura. Aunque las dos figuras no correspondan a la misma zona del laboratorio exactamente, se puede observar el armario con las torres de ordenador en la parte superior y la caja de madera en su parte derecha. Las piezas de madera en este caso se pueden distinguir mejor, ya

que en esta figura al estar los barridos más próximos entre ellos, aparecen con su forma casi total.

En este caso no aparece la caja situada encima de la mesa del laboratorio ya que el barrido no llegaba hasta esa zona. En la parte izquierda de la imagen aparece una forma, similar a un prisma rectangular, que corresponde a cualquier objeto ubicado en el laboratorio colindante, ya que el ensayo se realizó con la puerta abierta.

Pasillo tercera planta edificio Betancourt

- Campo de visión: 90°
- Rango de barrido: 135°
- Paso angular del motor: 1°

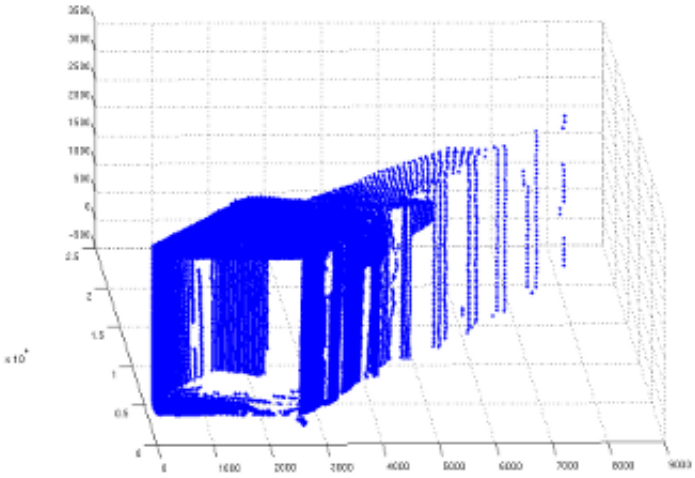


Figura 5.6: Entorno 3D de pasillo Betancourt

Figura 5.7: Pasillo tercera planta edificio Betancourt real

En la figura 5.6 se puede ver el entorno 3D de un pasillo de la tercera planta del edificio Betancourt. Se puede observar claramente la figura de la puerta abierta y el marco del pasillo. A la derecha de la figura se encuentran líneas verticales que corresponden a las puertas de los despachos que están situados a lo largo del pasillo. En la parte superior de los despachos se sitúan unos cristales que son atravesados por el haz del láser y en la figura 5.6 se pueden observar al estar formados por líneas verticales con poca separación.

Pasillo edificio Betancourt con persona

- Campo de visión: 90°
- Rango de barrido: 135°
- Paso angular del motor: 0,5°

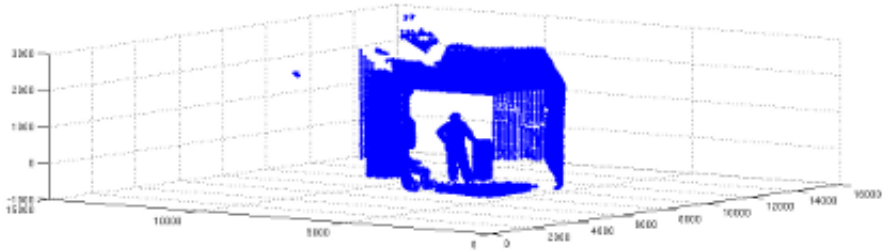


Figura 5.8: Entorno 3D de pasillo con persona estática

Figura 5.9: Imagen persona estática en pasillo real

Para realizar este ensayo, se colocó a un alumno en un pasillo de la tercera planta del edificio Betancourt sujetando una caja de cartón, además de colocarse una silla próxima a la pared izquierda. Estas tres figuras se pueden observar claramente en la figura 5.8. La figura puede parecer un poco distorsionada, pero se eligió esta vista de forma que se pudiesen observar los tres elementos mencionados. Además, en la parte derecha de la figura se pueden observar una conjunto de puntos que tienen distinta profundidad respecto a la pared. Éstos corresponden a una impresora situada en la esquina derecha del pasillo.

Además se puede observar la puerta que separa el pasillo de las escaleras y un prisma rectangular encima de la silla que corresponde a la caja contenedora del extintor.

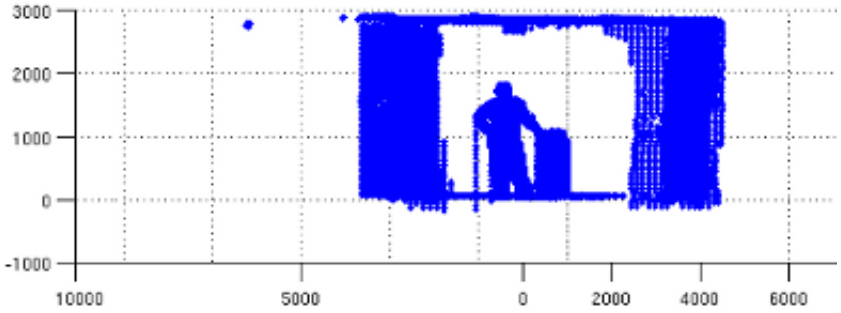


Figura 5.10: Demostración de altura real de la figura 5.8

En la figura 5.8 no se puede apreciar realmente las medidas de los objetos. Por ello se ha introducido la figura 5.10 mediante la cual se puede demostrar que las medidas realizadas por el láser son reales. Esto se comprueba con la altura del alumno situado en el pasillo, ya que éste mide 1,8m aproximadamente. Siendo ésta la medida que nos devuelve el láser.

Como se puede observar en las figuras anteriores correspondientes al pasillo del edificio Betancourt, el suelo del mismo no es detectado por el láser a partir de una distancia de 40cm aproximadamente. Esto se debe a que el ángulo formado por el haz de luz con el suelo, a partir de la distancia mencionada, es demasiado pequeño. Esto produce que la energía reflejada

del haz enviado no sea suficiente para ser detectada por el láser.

Cuando las distancias son demasiado elevadas, más de 30m aproximadamente, el láser tampoco es capaz de detectar la energía reflejada del haz de luz enviado. Por ello el fondo de los pasillos aparece en blanco, al no haber sido detectado por el láser.[1]

Pasillo edificio Betancourt II

- Campo de visión: 180°
- Rango de barrido: 135°
- Paso angular del motor: 0,5°

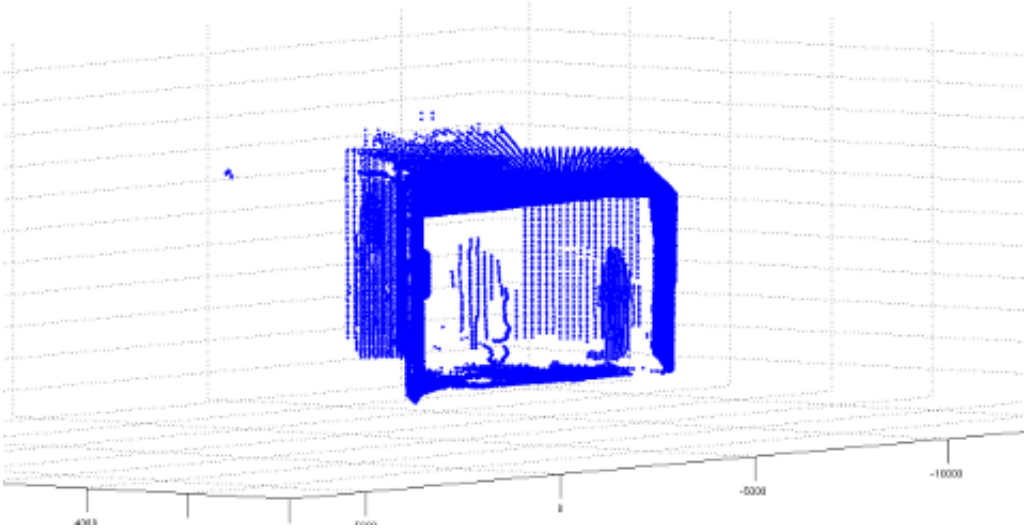


Figura 5.11: Entorno 3D de pasillo con persona no estática

Este pasillo corresponde con en mismo del ensayo anterior. En este caso inicialmente en el pasillo no se encontraba ninguna persona, pero mientras se estaba realizando el barrido láser aparecieron dos. Una de ellas abrió una puerta y se puede ver dibujada a la derecha de la imagen con un alto detalle. La segunda persona que apareció por el pasillo se encontraba andando, y aparece en la parte izquierda de éste. En este caso no se la puede observar

[1] Ya se probó esto en la sección 4.1.4, en el caso 5 con un ensayo simple

con el mismo detalle que a la otra, ya que se encontraba en movimiento en el tiempo que el láser barria la zona por donde él estaba caminando.

En este caso no se ha representado la totalidad de los ejes para que se pudiese observar mejor la imagen.

5.2. Tiempos de barrido

Una vez que se han presentado las imágenes formadas con los resultados obtenidos, se va a mostrar una tabla orientativa de los tiempos de barrido según paso, velocidad y grados totales a mover el motor.

Paso motor	**Velocidad (∘/seg)**	**Amplitud motor (∘)**	**Tiempo (seg)**
1	10	10	2,2
1	10	20	4,7
1	5	10	3,3
1	15	10	1,92
1/2	10	20	4,2
1/2	20	10	1,64
1/4	5	10	3,31
1/4	10	10	2,16
1/8	5	10	3,31

Cuadro 5.1: Tiempo de barridos láser

En la tabla anterior se puede comprobar que el tiempo de barrido sólo depende de la velocidad a la que se desplaza el motor y su amplitud de giro y no del paso del mismo. También se puede observar como el tiempo no mantiene una relación lineal exacta con las variaciones de velocidad y amplitud del motor. Esto seguramente se debe al tiempo de procesamiento del algoritmo que realiza la operación de barrido.

Capítulo 6

Desarrollo del software

Este capítulo se centra en todos los aspectos relacionados con el desarrollo del software que ha sido necesario realizar para cubrir las necesidad del proyecto. Éste se ha desarrollado mediante la aplicación Visual Studio 2005 bajo el sistema operativo Windws XP. La idea inicial era desarrollar la aplicación bajo el sistema operativo Linux, sin embargo los drivers de la controladora Standa sólo permiten su uso bajo el sistema operativo Windows.

A continuación se van a explicar las fases por las que ha pasado el software hasta llegar a su versión final. En segundo lugar se procederá a comentar los archivos que son necesarios para ejecutar el software desarrollado. Por último se adjuntará el diagrama de flujo que representa gráficamente los pasos que sigue el software durante su ejecución.

6.1. Fases del desarrollo

El software desarrollado para este proyecto se ha dividido en tres fases. La primera de ella ha sido el desarrollo del software necesario para realizar los barridos por parte del láser Hokuyo. Para ello se estudio las librerías API (interfaz de programación de aplicaciones) en C que proporciona el fabricante, las cuales contienen las funciones necesarias para el control del láser[1]. A partir de esas librerías se realizó un programa mediante el cual se podía controlar el láser de diversas maneras obteniendo diversos resultados.

[1] http://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/download/

Una vez que se consiguió manejar correctamente las API del láser y se realizó la calibración del mismo [1], se procedió a estudiar las funciones mediante las cuales se programa la controladora encargada del motor paso a paso Standa. Estas funciones se encuentran en un DLL que debe estar instalado en el ordenador encargado de manejar la controladora.

Cuando ya se dispuso de dos programas, los cuales por separado controlaban el láser y el motor paso a paso, se procedió a programar la aplicación encargada de controlar los dos elementos hardware al mismo tiempo. Para ello se eligieron las funciones necesarias para el control del laśer, así como para el control del motor. De esta forma se llegó a obtener la aplicación que cubría los objetivos del proyecto.

Finalmente, para realizar la imagen en tres dimensiones se usa la herramienta Matlab. Con esta imagen 3D se puede comprobar visualmente el buen funcionamiento del software realizado con anterioridad. En Matlab se ha realizado un programa realiza una transformación de coordenadas esféricas a cartesianas y representa el entorno 3D.

6.2. Archivos necesarios

Para conseguir compilar y ejecutar el código que se ha desarrollado se necesita incluir en éste una serie de archivos. En el caso del láser Hokuyo se necesitan incluir ocho archivos de tipo cabecera y unir al proyecto que se esté desarrollando una librería. Éstos se encuentran dentro del CD que incluye el láser Hokuyo UTM-30lx. La siguiente lista muestra el nombre de los archivos mencionados:

- delay.h
- detect_os.h
- ring _buffer.h
- serial_t.h
- serial_t_win.h para el caso de un sistema operativo Windows o serial_t .h para el caso de un sistema operativo linux.

[1] Vease sección 4.1.4

- urg_ctrl.h
- urg_parameter.h
- urg_t.h
- c_urg.lib corresponde con el archivo tipo librería.

En el caso del motor paso a paso Standa se necesita tener instalado en el directorio 'System32' de Windows la librería dinámica **USMCDLL.dll**. Para acceder a ese dll se debe unir al proyecto que se esté desarrollando el archivo tipo librería 'USMCDLL.lib'. Por último se debe incluir en el programa el archivo tipo cabecera USMCDLL.h.

A continuación se procede a explicar cómo se añaden archivos '.lib' en el entorno de desarrollo Visual Studio 2005, de la misma manera que se ha realizado en este proyecto.

El primer paso es realizar un click con el botón derecho en el proyecto que se esté desarrollando y posteriormente pinchar en 'propiedades'. Dentro de esta opción hay que seguir la ruta Propiedades de configuración->Vinculador ->Entrada. En el campo dependencias adicionales se añaden los archivos .lib necesario. Se desmarca la opción 'Heredar de primario o valores pred. del proyecto'.

6.3. Diagrama de flujo

A continuación se muestra el digrama de flujo del programa principal encargado de controlar el láser Hokuyo y el motor paso a paso.

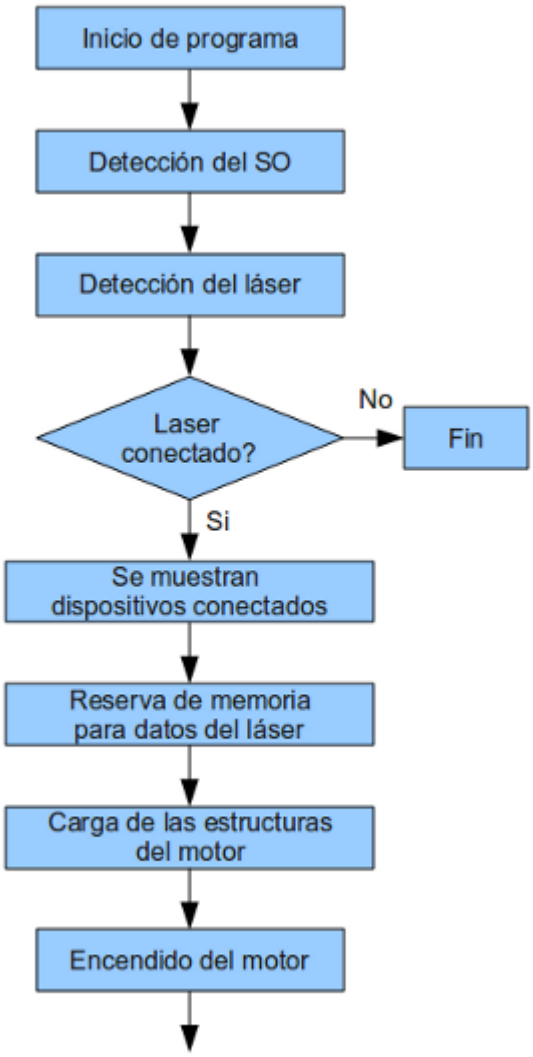


Figura 6.1: Diagrama de flujo programa principal I

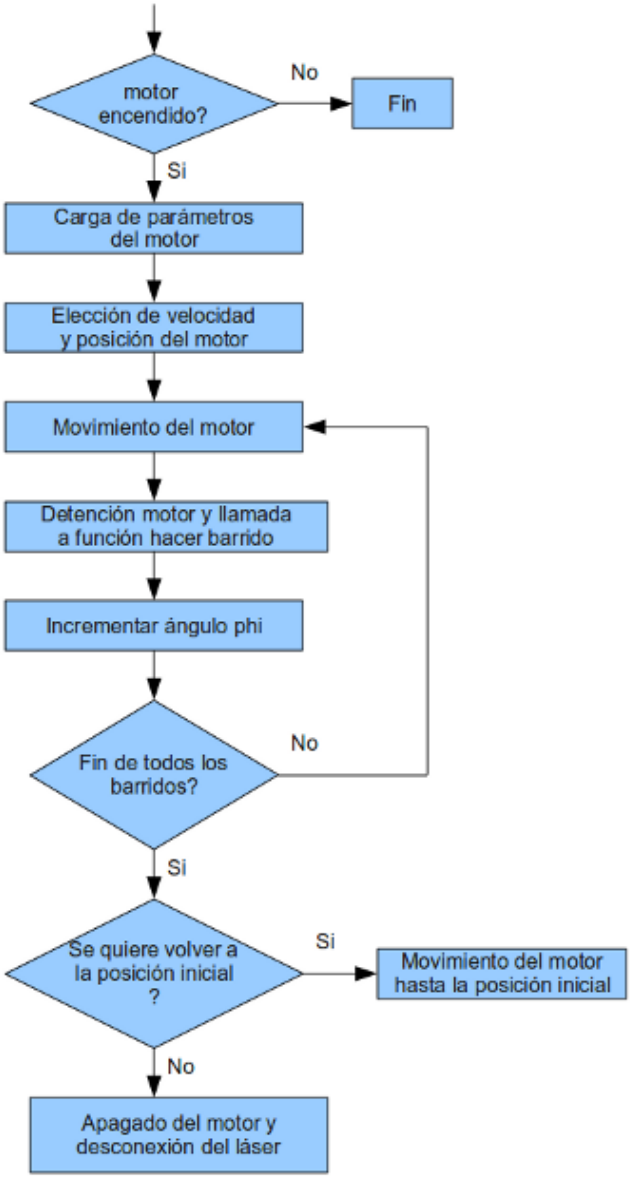


Figura 6.2: Diagrama de flujo programa principal II

El siguiente diagrama de flujo corresponde con la función encargada de realizar el barrido láser:

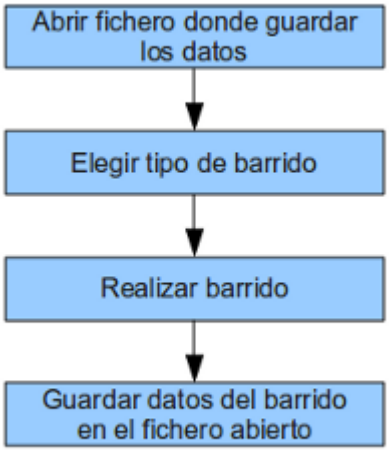


Figura 6.3: Diagrama de flujo realizar barrido

Capítulo 7

Conclusiones y aplicaciones futuras

Este capítulo se basa en el análisis del trabajo realizado durante el proyecto. La idea original de éste era ser desarrollado bajo un sistema operativo Linux, ya que las posteriores aplicaciones en las que el proyecto será utilizado trabajan bajo este sistema operativo. Sin embargo posteriormente se cambió al sistema operativo Windows XP debido a que la controladora Standa sólo incluye drivers que pueden ser usados bajo Windows.

Una vez elegido el sistema operativo y el posterior desarrollo del proyecto de la forma que se ha descrito en éste documento, se debe analizar cuales han sido los objetivos cumplidos con sus correspondientes problemas.

Las especificaciones de los objetivos que se han explicado en la sección 1.1 han sido cumplidos satisfactoriamente:

- La detención del motor en los puntos elegidos se realiza de forma satisfactoria ya que las imágenes en 3D creadas son coherentes. En el caso de realizarse la detención del motor en puntos incorrectos las imágenes 3D se obtendrían deformadas.
- En las imágenes formadas se puede comprobar como los grados totales que se le indican al motor se realizan correctamente.
- Se guardan únicamente los datos correspondientes al rango angular del láser que se ha definido.

- Observando el motor paso a paso se puede observar un movimiento diferente de éste en función del tipo de paso elegido.

El principal problema que apareció durante el desarrollo de la aplicación fue el conseguir realizar cualquier tipo de movimiento con el motor paso a paso. Esto se debió a que la función en lenguaje C que proporciona el fabricante de la controladora mediante la cual se realiza el movimiento del motor sólo se ejecuta completamente si la siguiente sentencia corresponde con el comando 'Sleep'. Esta sentencia debe tener como argumento el tiempo, previamente calculado, que tardará en llegar el motor a la posición de destino. Si en lugar de aparecer el comando 'Sleep' aparece cualquier otro comando, el motor se parará rapidamente ya que el código se continuará ejecutando, con la consecuencia de la parada del motor.

Esto resultó un problema que se tardó en solucionar ya que el fabricante no indicaba nada al respecto del comando que tenia que ir a continuación de la función encargada de realizar el movimiento del motor.

Respecto a ampliaciones futuras de este proyecto, consisten en la instalación del láser motorizado en un robot. Las aplicaciones de está instalación son varias. Entre ellas se encuentra la localización por parte del robot en un espacio concreto, la creación de un mapa de una habitación en la que se encuentre el robot o la detección de objetos que se encuentren en la trayectoria del robot, de forma que éste se pueda trasladar de forma autónoma.

Bibliografía

[1] Norbert Pfeifer, Christian Briese. *Laser Scanning – Principles and applications*. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Austria

[2] A. Mohammadzadeh, M. J. Valadan Zoej. *A state of art on airbone lidar application in hydrology and oceanography: a comprehensive overview*

[3] Christopher Beasy. *Mapas topográficos de Lidar: Alta exactitud y rapidez.*

[4] Lav Varshney. *Radar principles.*

[5] A.M. Atriya , A Bayram, A Safaai-Jazi y S.M Riad. *UWB Applications for trough-wall detection*

[6] Vassilis Varveropoulos. *Robot Localization and Map Construction Using Sonar Data.*

[7] Manual Hokuyo UTM-30lx

[8] Manual de usuario 8SMC1-USBhF

[9] http://www.standa.lt/products/catalog/motorised_positioners.

[10] http://www.lpi.tel.uva.es/ñacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_06_07/io7/public_html/sonar1.html.

[11] http://www.hokuyo-aut.jp/02sensor/07scanner/download/urg_programs_en/index.html.

[12] http://www.neoteo.com/motores-paso-a-paso.neo.

[13] http://www.consumo-inc.es/Seguridad/informacion/informes/laser.htm.

[14] http://www.sprl.upv.es/IOP_RF_01.htm.

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
Escuela Politécnica Superior

PRESUPUESTO DE PROYECTO

1.- Autor:
Carlos Cano Olivera
2.- Departamento:
Ingeniería de Sistemas y Automática
3.- Descripción del Proyecto:
- Titulo: Telémetro láser 3D con sensor Hokuyo UTM-30lx
- Duración (meses): Cinco
Tasa de costes Indirectos: **20%**

4.- Presupuesto total del Proyecto (valores en Euros):
Euros

5.- Desglose presupuestario (costes directos)

PERSONAL

Apellidos y nombre	N.I.F. (no rellenar - solo a titulo informativo)	Categoría	Dedicación (hombres mes) [a]	Coste hombre mes	Coste (Euro)	Firma de conformidad
Cano Olivera, Carlos		Ingeniero	1,97	2.694,39 €	5.307,95 €	
			Hombres mes 1,97		**Total**	5.307,95 €

[a] 1 Hombre mes = 131,25 horas. Máximo anual de dedicación de 12 hombres mes (1575 horas)
Máximo anual para PDI de la Universidad Carlos III de Madrid de 8,8 hombres mes (1.155 horas)

EQUIPOS

Descripción	Coste (Euro)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación	Coste imputable [d]
Sensor Hokuyo UTM-30lx	3.687,07 €	50	3	60	92,18 €
Plataforma motorizada 8MR151	592,24 €	70	4	60	27,64 €
Controladora 8SMC1-USBhf-B1-	275,86 €	70	4	60	12,87 €
Portátil HP compaq	426,72 €	100	5	48	44,45 €
Fuente de alimentación TXL060	53,58 €	50	3	60	1,34 €
Visual Studio 2005 Standar edit	223,28 €	90	5	12	83,73 €
Matlab R2009	1.256,03 €	20	2	12	41,87 €
				Total	304,07 €

[d] Fórmula de cálculo de la Amortización:

$$\frac{A}{B} x C x D$$

A = nº de meses desde la fecha de facturación en que el equipo es utilizado
B = periodo de depreciación (60 meses)
C = coste del equipo (sin IVA)
D = % del uso que se dedica al proyecto (habitualmente 100%)

SUBCONTRATACIÓN DE TAREAS

Descripción	Empresa	Coste imputable
	Total	0,00 €

OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO[e]

Descripción	Empresa	Costes imputable
	Total	0,00 €

[e] Este capítulo de gastos incluye todos los gastos no contemplados en los conceptos anteriores, por ejemplo: fungible, viajes y dietas, otros,…

6.- Resumen de costes

Presupuesto Costes Totales	
Personal	5.307,95 €
Amortización	304,07 €
Subcontratación de tareas	0,00 €
Costes de funcionamiento	0,00 €
Costes Indirectos	1.122,40 €
Total	**6.734,43 €**

Anexos

Date: 2008.04.14

Scanning Laser Range Finder
UTM-30LX/LN
Specification

Symbol	Amendment Details			Amendment	Date	Amended by	Number
Approved by	Checked by	Drawn by	Designed by	Title	UTM-30LX/LN Specification		
	MORI	KAMITANI	HINO	Drawing No.	C-42-3615		1/5

1. Introduction

UTM-30LX/LN use laser source (λ = 870nm) to scan 270º semicircular field (Figure 1). It measures distance to objects in the range and co-ordinates of those point calculated using the step angle. Sensor's measurement data along with the angle are transmitted via communication channel.

Sensor is divided into two types depending upon the type of output.

1. UTM-30LX
   It outputs synchronous signal after every scan. These are mainly intended for robotic applications.

2. UTM-30LN
   It outputs warning signal whenever there is any object in the pre-set area. These are mainly intended for area protection.

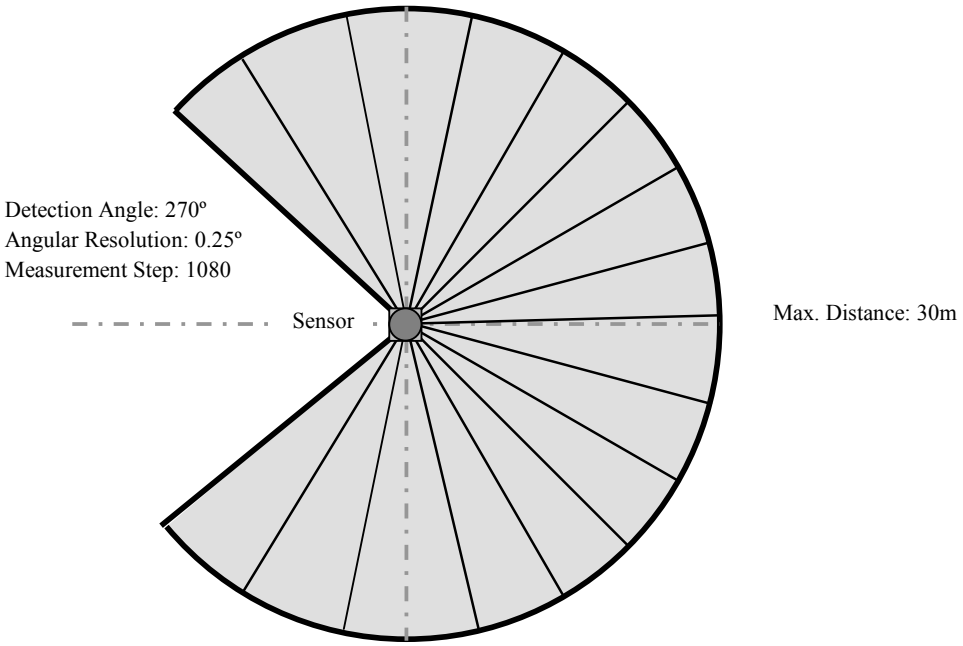


Figure 1

2. Specifications

Product Name	Scanning Laser Range Finder	
Model	**UTM-30LX**	**UTM-30LN**
Light Source	Laser Semiconductor λ = 870nm , Laser Class 1	
Supply Voltage	12VDC ±10%	
Supply Current	Max: 1A, Normal : 0.7A	
Power Consumption	Less than 8W	
Detection Range and Detection Object	Guaranteed Range: 0.1 ~ 30m (White Kent Sheet) Maximum Range : 0.1 ~ 60m Minimum Width detected at 10m : 130mm (Change with distance)	
Accuracy	Under 3000lx : White Kent Sheet: ±30mm*1 (0.1m to 10m) Under 100000lx : White Kent Sheet: ±50mm*1 (0.1m to 10m) (Also refer data sheet attached with the product.)	
Measurement Resolution and Repeated Accuracy	1mm Under 3000lx : σ = 10mm*1 (White Kent Sheet up to 10m) Under 100000lx : σ = 30mm*1 (White Kent Sheet up to 10m)	
Scan Angle	270º	
Angular Resolution	0.25º (360°/1440)	
Scan Speed	25ms（Motor rotation speed : 2400rpm）	
Interface	USB Ver2.0 Full Speed (12Mbps)	
Output	Synchronous Output 1- Point	Warning Output 1- Point
Ambient Condition (Temperature, Humidity)	-10ºC ~ ＋50ºC Less than 85%RH (Without Dew, Frost)	
Preservation Temperature	-25~75ºC	
Environmental Effect	Measured distance will be shorter than the actual distance under rain, snow and direct sunlight*2.	
Vibration Resistance	10 ~ 55Hz Double amplitude 1.5mm in each X, Y, Z axis for 2hrs. 55 ~ 200Hz 98m/s^2 sweep of 2min in each X, Y, Z axis for 1hrs.	
Impact Resistance	196m/s^2 In each X, Y, Z axis 10 times.	
Protective Structure	Optics: IP64	
Insulation Resistance	10MΩ DC500V Megger	
Weight	210g (Without cable)	
Case	Polycarbonate	
External Dimension (W×D×H)	60mm×60mm×85mm MC-40-3127	

*1 Under Standard Test Condition (Accuracy can not be guaranteed under direct sunlight.)
*2 Confirm sensor functions under operating environment. Measures such as signal processing in LX type and ON/OFF delay in LN type should be taken if necessary to avoid measurement faults.

3. Quality Reference Value

Operating Vibration resistance	10~150Hz 19.6m/s^2 Sweep of 2min in each X,Y,Z axis for 30min
Operating Impact resistance	49m/s^2 X, Y,Z axis 10 times
Angular Speed	2π/s (1Hz)
Angular Acceleration	π/2rad/ s^2
Life	5 Years (Varies with operating conditions)
Sound Level	Less than 25dB at 300 mm
Certification	FDA Approval (21 CFR part 1040.10 and 1040.11)

4. Interface

(1) Robot Cable 10Pin

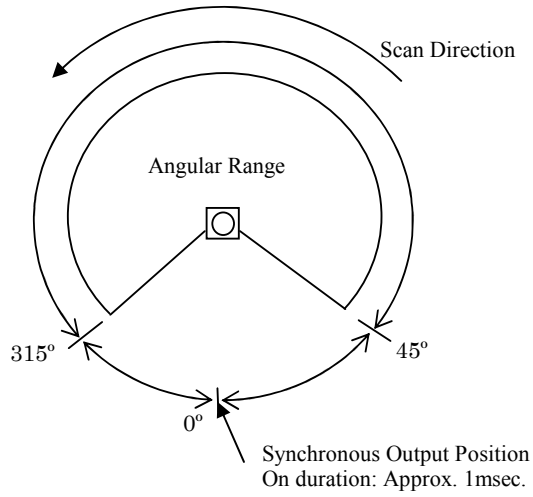
Color	Function
Brown	+12v Power
Blue	0v Power
Green	Synchronous Output/ Warning Output
White	COM Output (0V: Common to Power)

(2) USB Connector
TYPE-A

Note:
SG for communication and GND are connected internally (Isolated with Input -VIN).
Isolate the device form any connection that generate electric noise.
This sensor is compatible with SCIP2.0 protocol standard.

5. Control Signal

(1) Synchronous Output (UTM-30LX)
Output is one pulse for approximately 1msec after every scan (Figure 2).



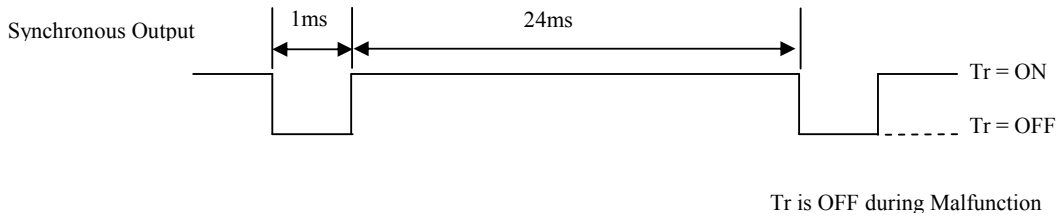


Figure 2

(2) Warning Signal (UTM-30LN)

Protection area can be set in LN-type sensors using application software (Figure 3). Output is switched off when obstacles are detected inside the pre-set area (Output is ON when there are no obstacles).

Area is set using 3~7 co-ordinate points.

Maximum output delay can be set to 128 times (3.2 sec)

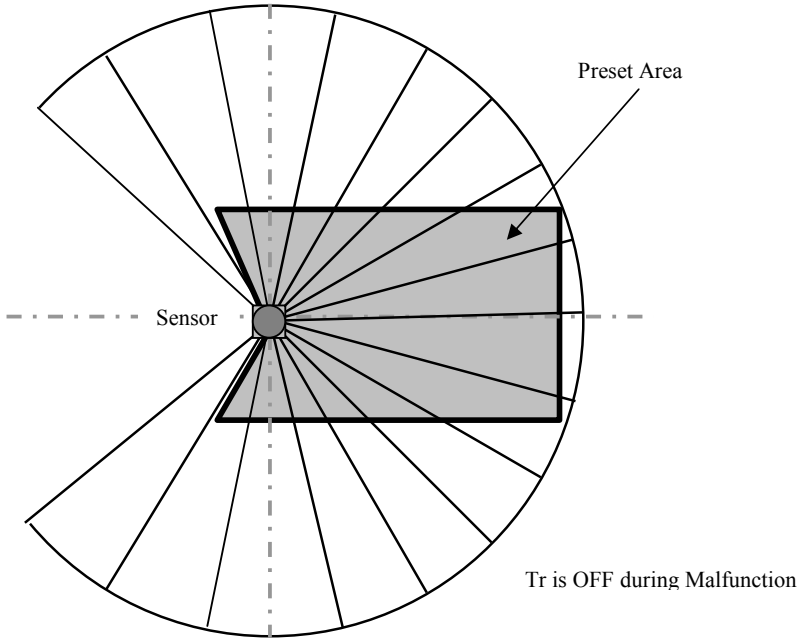


Figure 3

(3) Malfunction Output:

1. Laser Malfunction : When laser does not radiate or exceeds safety class 1.
2. Motor Malfunction : When rotation speed is not equal to preset value.

When these malfunctions are detected synchronous/Warning signal is turned to OFF state. Error analysis can be done via communication.

Motorized Rotation Stages

8MR151

8MR151-1

8MR151-30

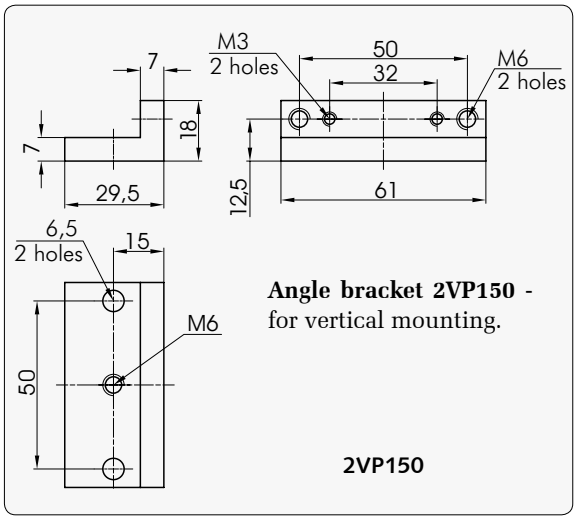
SPECIFICATIONS

Rotation Range	360°
Resolution in full step*	0.6 arcmin
in 1/8 step*	4.5 arcsec
Max. rotation speed*	50°/s
Wobble	0.6 arcmin
Eccentricity	10 μm
Load capacity	
Horizontal	6 kg
Radial	1.7 kg
Torque	0.5 Nm
Cable	integrated, 1.6 m length
Motor connector	HDB15(M)
Stepper motor	28
Weight	0.56 kg

***Test condition:**
- STANDA controllers;
- Power supply – 36V.

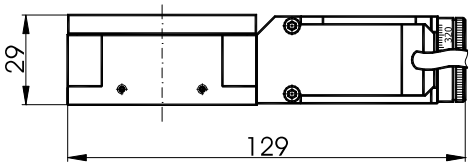
ORDERING INFORMATION

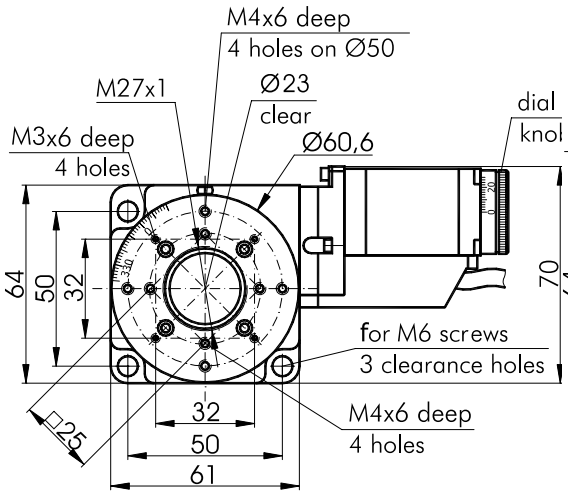
8MR151-1	M27×1 for 1" optics mounting (Ø23 mm clear aperture)
8MR151-30	Ø30 mm aperture
2VP150	vertical plate



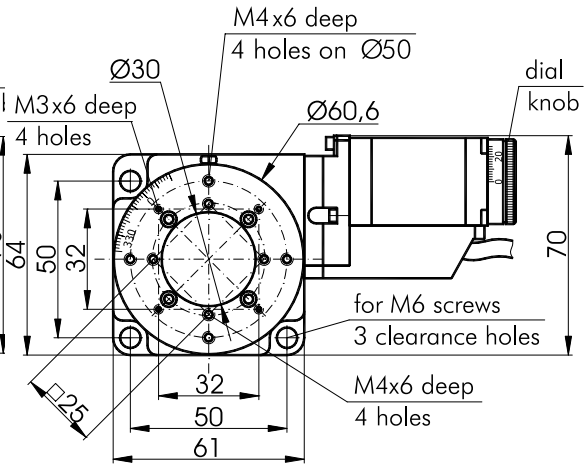
Angle bracket 2VP150 - for vertical mounting.

Available INCH version 8MR151E



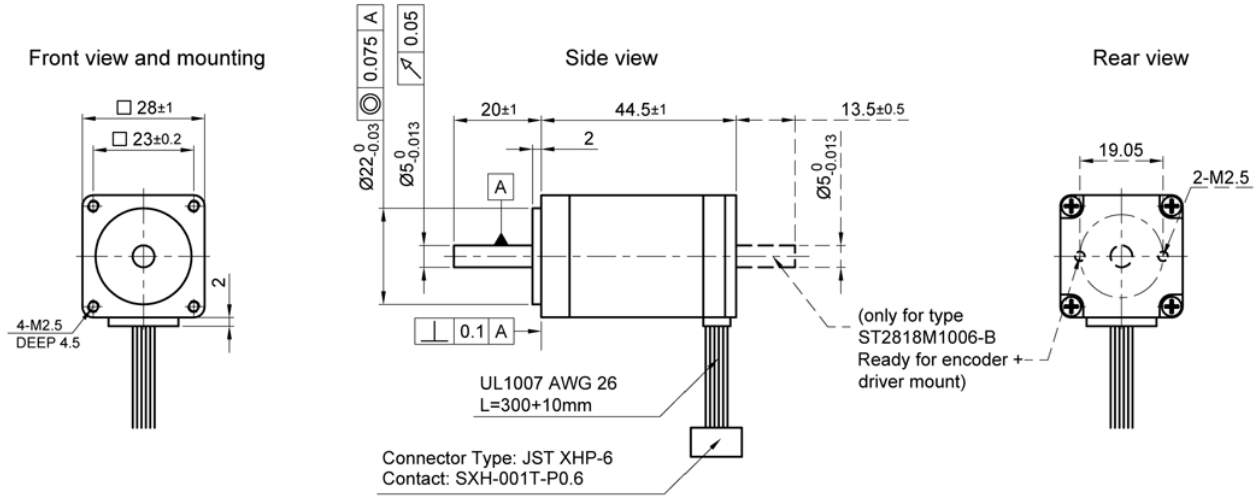


8MR151-1



8MR151-30

http://www.standa.lt
e-mail: sales@standa.lt
Fax: +370-5-2651483
Phone: +370-5-2651474



SPECIFICATION \ CONNECTION	UNIPOLAR OR BIPOLAR-1 WINDING	BIPOLAR SERIAL
VOLTAGE (VDC)	3.23	4.56
AMPS/PHASE	0.95	0.67
RESISTANCE/PHASE (Ohms)@25°C	3.4±15%	6.8±15%
INDUCTANCE/PHASE (mH) @1KHz	1.2±20%	4.8±20%
HOLDING TORQUE (Nm) [lb-in]	0.075 [0.664]	0.106 [0.938]
DETENT TORQUE (Nm) [lb-in]	3.75×10^{-3} [0.0332]	
STEP ANGLE (°)	1.8	
STEP ACCURACY (NON-ACCUM)	±5%	
ROTOR INERTIA (Kg-m²) [lb-in²]	12×10^{-7} [4.1×10^{-3}]	
WEIGHT (Kg) [lb]	0.176 [0.388]	

TEMPERATURE RISE: MAX.80°C (MOTOR STANDSTILL; FOR 2 PHASE ENERGIZED)

AMBIENT TEMPERATURE -10°~ 50°C [14°F ~ 122°F]

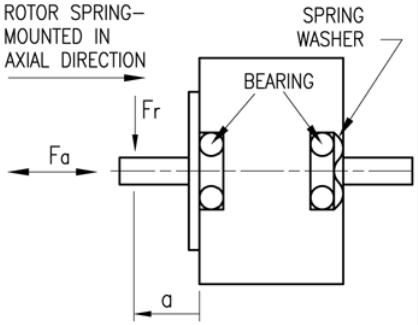
INSULATION RESISTANCE 100 MOhm (UNDER NORMAL TEMPERATURE AND HUMIDITY)

INSULATION CLASS B 130° [266°F]

DIELECTRIC STRENGTH 500VAC FOR 1 MIN. (BETWEEN THE MOTOR COILS AND THE MOTOR CASE)

AMBIENT HUMIDITY MAX. 85% (NO CONDENSATION)

PERMISSIBLE RADIAL+AXIAL FORCE



AXIAL-FORCE Fa (N)	Fa=7			
DISTANCE a (mm)	5	10	15	20
RADIAL-FORCE Fr (N)	58	36	26	20

	AXIAL	RADIAL
SHAFT PLAY (mm)	0.075	0.025
AT LOAD MAX: (N)	10	5.0

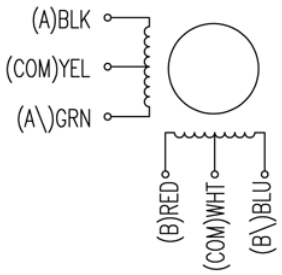
TYPE OF CONNECTION (EXTERN)			MOTOR		
UNIPOLAR	BIPOLAR 1WINDING	BIPOLAR SERIAL	CONNECTOR PIN NO.	LEADS	WINDING
A	A	A	1	BLK	A
COM	COM		5	YEL	COM
A\		A\	3	GRN	A\
B	B	B	2	RED	B
COM	COM		6	WHT	COM
B\		B\	4	BLU	B\

for >speed
for <speed

FULL STEP 2 PHASE-Ex.,
WHEN FACING MOUNTING END (X)

STEP	A	B	A\	B\		
1	+	+	−	−	↓	↑
2	−	+	+	−		
3	−	−	+	+		
4	+	−	−	+	CW	CCW

WIRING DIAGRAM



REV	DESCRIPTION	DATE	APVD

ST2818M1006

SCALE FREE		APVD	S.K.	06.06.06
X	±0.5	CHKD		
1PL	±0.2	DRN	J.W.	06.06.06
2PL	±0.1	SIGNATURE		DATE
ANGLE	±30'			

STEPPING MOTOR

DWG.NO
ST2818M1006