

# Sistema LIDAR: obtención de información 3D a partir de imágenes 2D

Roberto Ocaña, Ian Wallhead, Teresa Molina, AIDO - Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen.

Palabras clave: LIDAR, sistemas de imagen, iluminación activa, detección de objetos.

Metas tecnológicas relacionadas:  
MT 2.1.6.

Un sistema LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) de imagen es un sistema capaz de obtener información 3D de un campo visual de manera instantánea a partir de imágenes 2D sincronizadas con una fuente de iluminación. A diferencia de los sistemas LIDAR de escaneo (no formadores de imagen) que necesitan de un tiempo de barrido de un sensor puntual para obtener la información 3D de un campo visual, los sistemas LIDAR de imagen se destacan por la rapidez en la extracción de la información 3D. Se puede hablar de que los sistemas LIDAR de imagen son sistemas más cercanos a la terminología "tiempo real" permitiendo al usuario seleccionar objetos de una escena o elaborar un mapa 3D de manera instantánea.

Existen básicamente dos tipos de sistemas LIDAR de imagen: los sistemas que guardan la información 3D de una escena en cada pixel y los que usan luz sincronizada junto con un obturador ultrarrápido. En los primeros, cada pixel del sensor no sólo es capaz de registrar la intensidad sino también el momento en el que la luz llega al pixel. Esta característica junto con la utilización de una iluminación sincronizada permite obtener información 3D de una escena tal como se ilustra en la figura 1.

En efecto, supongamos que en el instante  $t=0$  se abre la cámara y se lanza un pulso de iluminación (por ejemplo usando una lámpara flash o un láser). Si todos los objetos de la figura 1 caen dentro del campo visual del sistema LIDAR, podremos decir que la luz de nuestro sistema de iluminación se reflejará primero en los objetos azules, después en los rojos y por último en los verdes. Este orden

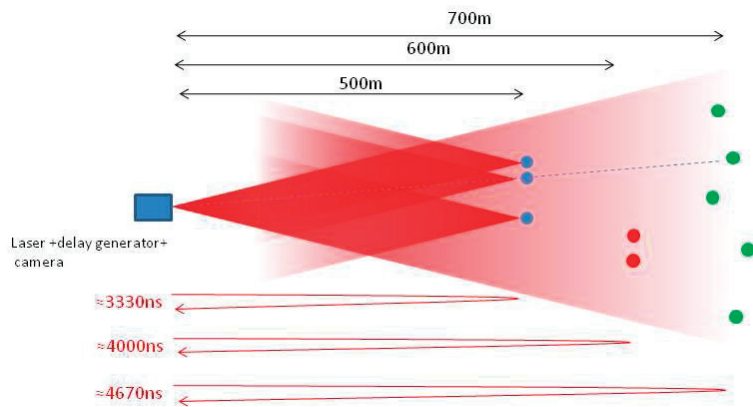


Fig. 1. Principio de funcionamiento de un LIDAR de imagen. (Fuente: AIDO)

es el mismo para la llegada de la luz reflejada a la cámara. El tiempo de llegada de la luz a la cámara depende de la velocidad de la luz y de la distancia a la que están situados estos objetos. Entonces, para la situación ilustrada en la figura 1 tenemos que la luz de los objetos azules situados a 500 m de distancia llega a la cámara 3,33 microsegundos más tarde; la de los objetos rojos (situados a 600 m de distancia) 4 microsegundos más tarde y la de los objetos verdes (situados a 700 m de distancia) 4,67 microsegundos más tarde. Por lo tanto, si cada pixel de nuestro sensor es capaz de registrar el momento en el que la luz le llega, obtendremos como resultado una imagen con información tridimensional de la escena. Este tipo de sistema LIDAR de imagen es sin embargo complejo de desarrollar ya que exige un método de registro del momento de la llegada de la luz a cada pixel y además una lectura rápida de todo el conjunto de pixeles del sensor. Es por ello, que los desarrollos actuales sólo permiten registrar un número limitado de pixeles para la formación de la imagen, necesitan de frecuencias de procesador en el sensor elevadas y por ser desarrollos especiales, el precio del sensor se dispara hasta las centenas de miles de euros. Además cabe señalar, que la precisión de la información 3D dependerá de lo preciso que sea cada pixel del sensor determinando el momento de llegada de la luz.

El segundo tipo de sistema LIDAR de imagen ya mencionado, consigue superar estas desventajas mediante luz sincronizada y obturadores ultrarrápidos. En efecto, en estos sistemas el obturador de la cámara (un inten-

sificador de imagen) decide cuándo comienza la exposición y durante qué tiempo. De esta manera y continuando con el ejemplo ilustrado en la figura 1, si nuestro obturador se abre durante un tiempo suficiente a partir del instante  $t=3,33$  microsegundos, sólo registraremos los objetos azules. Para la siguiente imagen, abriendo el obturador en el instante  $t=4$  microsegundos registraremos los objetos rojos y en una última imagen, abriendo el obturador en el instante  $t=4,67$  microsegundos registraremos los objetos verdes. El tiempo que permanece abierto el obturador en cada captura define la profundidad de la escena a registrar. Por tanto, sabiendo que la luz recorre 30 centímetros en 1 nanosegundo podremos decir que por cada nanosegundo que el obturador permanezca abierto registraremos 15 centímetros de profundidad (nótese que la luz reflejada en un objeto a 15 centímetros habrá recorrido 15 cm en la ida y 15 cm en la vuelta, es decir 30 cm en total). Las tres imágenes captadas usando la anterior metodología contendrán por tanto la información tridimensional de la escena. En general tanto el sistema de iluminación como el obturador (un intensificador de imagen) permiten trabajar a frecuencias tan altas como 100 Hz para escenas con objetos situados a partir de una decena de metros. Esto nos garantiza la obtención de 100 imágenes en 1 segundo o lo que es lo mismo, la capacidad de dividir la escena en 100 imágenes de profundidad en un segundo.

En toda esta discusión se ha omitido hasta ahora el papel que juega la iluminación. De hecho se necesita un control preciso en el rango de los na-

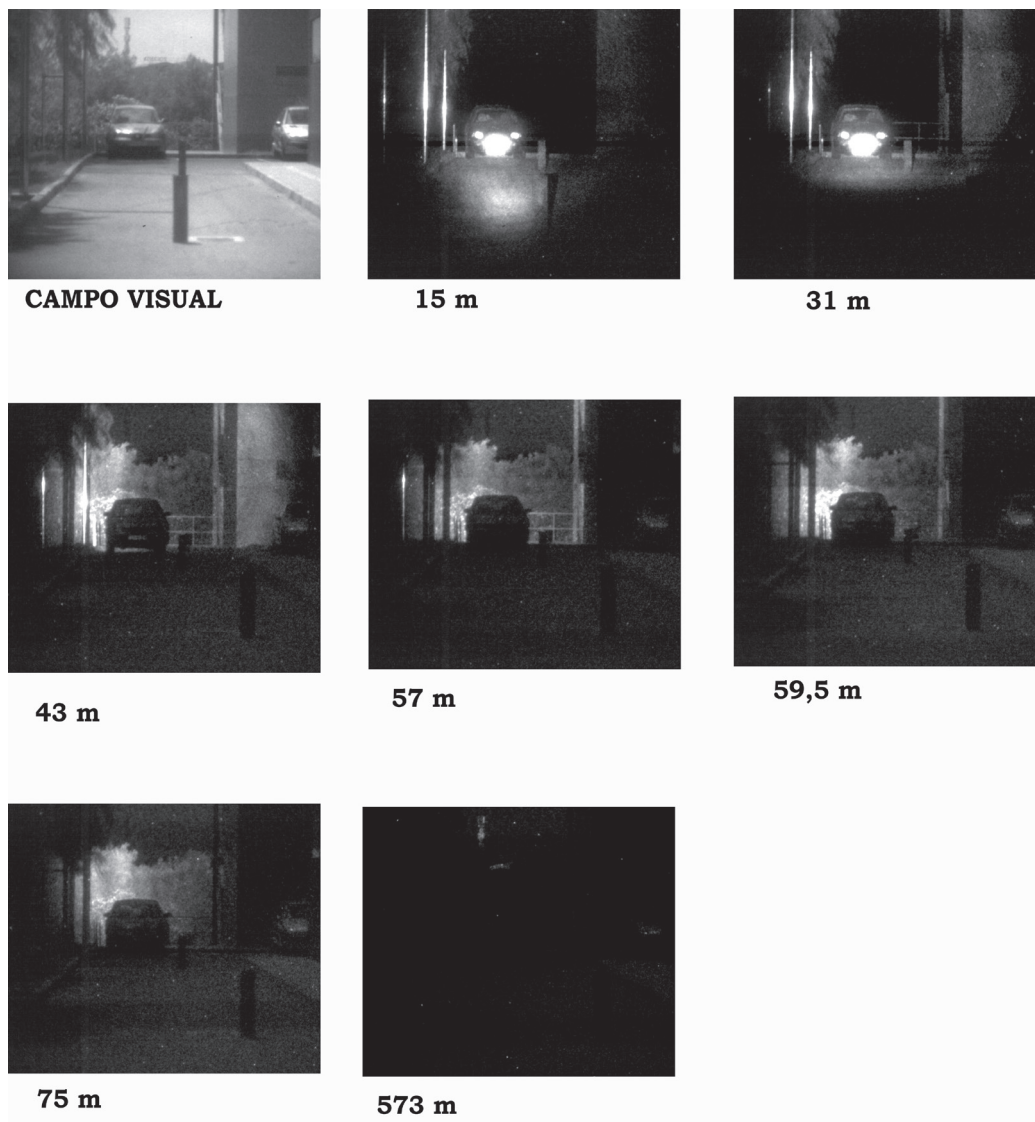


Fig. 2. En la imagen de la izquierda se observa el campo visual del LIDAR y en la imagen de la derecha (captada en tiempo real) se han seleccionado sólo los objetos a una distancia de 185,5 m del LIDAR y con una profundidad de 36 m. (Fuente: AIDO)

nosegundos tanto para el momento de la emisión de la luz como para su duración. Esto sólo se puede hacer con láseres pulsados de alta energía por pulso y duraciones de pulso cortas. La precisión resultante en la profundidad depende tanto del momento y tiempo de apertura del obturador como del momento de emisión del pulso láser y su duración.

En AIDO, teniendo en cuenta los factores anteriormente comentados se ha desarrollado un láser a medida capaz de proporcionar pulsos de iluminación de 7 nanosegundos, a 60 Hz y lo suficientemente energéticos como para impresionar en un régimen de ganancia aceptable (de tal forma

que el ruido se mantenga en un nivel óptimo) un intensificador de imagen acoplado a un sensor convencional CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) o CCD (*Charge Coupled device*). Esto nos permite no sólo la obtención de 60 imágenes de profundidad en un segundo (con la correspondiente información tridimensional) abriendo el intensificador con un retraso incremental para cada imagen, sino también la captura de video en tiempo real seleccionando una distancia y profundidad de registro y con una frecuencia de refresco de 60 Hz. Nuestro láser de iluminación puede trabajar en el infrarrojo cercano (con una longitud de onda de 1.064 nm)

o emitiendo pulsos de luz verde (con una longitud de onda de 532 nm). Las razones para el desarrollo del módulo que hacen posible la emisión de pulsos verdes son por un lado adaptarnos a la máxima sensibilidad del intensificador (que está en el entorno de 520 a 540 nm para el intensificador disponible en nuestro laboratorio) y por otro lado evaluar la seguridad de la emisión láser para el ojo humano en las condiciones menos óptimas, esto es, con luz visible. De hecho muchas aplicaciones de estos sistemas tienen que contemplar la posibilidad de que haya personas en la escena a captar y el sistema de iluminación debe ser inocuo para el ojo humano.



Fig. 3. En la parte de la izquierda arriba se encuentra una foto de la escena a captar y a continuación una secuencia de imágenes LIDAR a diferentes distancias. La profundidad de captura aplicada es de 36 m. (Fuente: AIDO)

Como se ha comentado anteriormente este sistema puede operar con iluminación infrarroja pero requiere de un intensificador de imagen con un máximo de sensibilidad en el entorno de los 1.064 nm para la longitud de onda. Esto tiene como desventaja tener que utilizar unos intensificadores menos económicos que los que tienen el máximo de sensibilidad en el espectro visible pero por contra la disponibilidad de energía de iluminación con láser en el infrarrojo suele ser mayor que en el visible. En este láser la iluminación verde de los pulsos es obtenida a partir de pulsos infrarrojos por medio de un proceso llamado "generación de segundo armónico". En el proceso se pierden aproximadamente 2/3 de la energía primaria. Esto hace que la operación en infrarrojo sea más adecuada si se dispone de un intensificador de imagen con niveles de sensibilidad aceptables en esta región del espectro. Además la operación en el infrarrojo es más apropiada para aplicaciones en defensa ya que esta región del espectro es indetectable para el ojo humano.

Con todo esto en mente, en AIDO se ha querido llevar a cabo una prueba conceptual que demuestre el potencial de esta tecnología pero que sirva además para evaluar la clasificación de la seguridad láser de la emisión. Para ello se ha utilizado iluminación verde como caso más desfavorable para la seguridad del ojo humano y a la vez un intensificador económico con una sensibilidad máxima en esta

región del espectro. En la figura 2, se presenta una imagen LIDAR tomada con la intención de seleccionar un edificio situado a 185,5 m del sistema y aplicando una profundidad de 36 m. Esta imagen demuestra cómo este tipo de LIDAR nos permite seleccionar objetos tridimensionales de una escena en tiempo real. La reconstrucción 3D de la escena completa es posible a través de un barrido incremental de retrasos de exposición permitiendo de esta manera la obtención de 60 imágenes por segundo cuya precisión en resolución dependerá del tiempo que permanezca abierta la cámara a través del intensificador de imagen. De esta manera se ha podido determinar que los objetos más lejanos de la escena de la figura 2 se encuentran a 690 m (edificios al fondo en la parte de arriba de la imagen). En la figura 3, se muestra una secuencia de siete imágenes LIDAR tomadas a diferentes tiempos de retraso entre la emisión del pulso de iluminación y la apertura de la cámara. Las imágenes muestran que los objetos más lejanos se encuentran a 573 m del sistema.

Los cálculos y mediciones demuestran que a partir de una distancia perimetral de 1,5 m, el sistema se puede clasificar como clase 2. Esto significa que la mirada deliberada hacia el sistema por parte de una persona que se encuentre en la escena es segura, siempre que ésta se encuentre fuera del perímetro de seguridad en torno al LIDAR. Con un sistema formador de imagen (zoom) y de iluminación (lentes

homogenizadoras + divergencia de haz) adecuados, ha sido posible determinar objetos a distancias de hasta 7 km utilizando energías de iluminación más elevadas y estableciendo por tanto perímetros de seguridad mayores.

En resumen, los sistemas LIDAR de imagen con láseres de pulsos cortos y obturadores ultrarrápidos son una solución sencilla y económica para la obtención rápida y precisa de la información tridimensional de una escena. En el instituto, AIDO, se han establecido técnicas y métodos en materia de desarrollo de fuentes láser, diseño óptico y visión artificial que permiten diseñar y realizar este tipo de sistemas para aplicaciones a medida, combinando la iluminación de láseres de pulsos cortos y alta energía y un diseño detallado de sistema formador de imagen. Como resultado, estos sistemas desarrollados pueden operar de forma segura para el ojo humano optimizando las posibilidades de medición tridimensional.

Respecto de las posibles aplicaciones finales, son múltiples y de gran interés las relacionadas con defensa. Se podrían detectar de manera automática objetos y determinar la distancia a la que se encuentran desde el emisor, (y por tanto su posición), así como sus formas y dimensiones. En particular se considera que se aplicarían en la vigilancia de fronteras marítimas y terrestres e instalaciones críticas, y también en los sistemas de designación de objetivos.