

Comparación de desempeño de una cámara de profundidad comercial y un LIDAR en explotaciones agrícolas

C. Correa¹, M. Garrido, A. Moya, C. Valero y P. Barreiro

¹ Universidad Politécnica de Madrid, Dpto. de Ingeniería Rural. LPFTAGRALIA. Av. Complutense s/n. Ciudad Universitaria, Madrid, ccorrea@udec.cl

Resumen

Este estudio presenta una comparativa entre un LIDAR modelo LMS-111 (Sick Ltd.) y una cámara de profundidad de uso doméstico: *Kinect* (Microsoft Corporation), orientada a determinar las condiciones de uso de uno y otro sensor, así como sus ventajas e inconvenientes cuando son empleados en condiciones de campo, en una explotación agrícola. Para ello se realizaron diversos ensayos en una parcela experimental del CSIC-CAR de Arganda del Rey, España. Para los ensayos ambos sensores fueron instalados en un tractor operado remotamente diseñado y construido en el marco del proyecto europeo RHEA. Dicho tractor realizó dos recorridos diferentes: el primero se efectuó en paralelo a un muro y el segundo paralelo a una hilera de olivos. El primer ensayo se realizó con el propósito de cuantificar la uniformidad de las mediciones de ambos sensores y el segundo para validar los resultados en un cultivo real. Los recorridos se realizaron empleando cuatro marchas diferentes, con el objetivo de determinar si los diferentes regímenes de operación del motor influyen sobre la precisión de los sensores.

Los resultados muestran que el LIDAR posee un mayor alcance máximo de medición, pero una resolución menor frente a *Kinect*, muestran además que el LIDAR puede ser operado a cualquier hora del día y condición meteorológica, mientras que *Kinect*, no puede operar en exteriores, salvo en horas del día con baja intensidad lumínica. Por otra parte la gran desventaja del LIDAR es su coste, 30 veces más alto que *Kinect*.

Palabras clave: Canopia, IAF, LIDAR, pulverización, *Kinect*.

Performance Comparison of LIDAR and Consumer Depth Cameras in Agricultural exploitations.

Abstract

A comparative study between two depth sensors, LIDAR model LMS-111 from Sick and a consumer depth camera model *Kinect* from Microsoft, was performed, in order to determine their ranges of applicability, performances, advantages and drawbacks, when used under field experimental conditions in agricultural farms. Several tests have been performed in the experimental field of CSIC-CAR in *Arganda del Rey*, Spain, where sensors were mounted on board of a remotely operated tractor, developed in the framework of the EU project RHEA. This tractor carried out two different routes: the first route was performed parallel to a wall while the second was performed parallel to a row of olive trees. The first test was performed in order to assess the data uniformity from the two sensors, while the second was performed in order to validate the results under agricultural field conditions. Routes were performed at four different speeds in order to determine whether the engine's operation regime affects the accuracy of sensors.

Results show that LIDAR has greater reach and accuracy, but a lower resolution as compared with the *Kinect* sensor. Additionally, the results show that LIDAR could be operated at any time or weather conditions, meanwhile *Kinect* can't operate outdoors, unless under low lighting conditions or during the night. Finally the largest LIDAR's drawback is its cost, 30 times higher than the *Kinect* sensor.

Keywords: Canopy, LAI, Spraying, Laser, *Kinect*.

Introducción

La incorporación de nuevas tecnologías en la aplicación de plaguicidas ha sido una constante en los últimos años, debido a la concienciación tanto de los agricultores como de los investigadores acerca del daño que estos pueden producir al medio ambiente. Por otra parte la caracterización del follaje juega un importante papel en la programación del riego, tratamientos y en la predicción de la producción. Por todo ello las tecnologías como la detección de follaje mediante ultrasonidos (Balsari et al., 2008; Gil et al., 2007), o más recientemente con LIDAR (Escolà et al.; Walklate et al., 2002), han despertado el interés del ámbito científico.

Sin embargo, a pesar de los buenos resultados que el LIDAR proporciona, su masificación o incorporación comercial se ve limitada por su elevado coste. Por este motivo resulta de interés evaluar el uso de una cámara de profundidad comercial, diseñada para videojuegos. Esta cámara es la *Kinect* Xbox 360 de Microsoft Corporation. y ofrece imágenes de profundidad de 640x480 píxeles de resolución a una frecuencia de 30 Hz. Además proporciona imagen de video RGB con una resolución de hasta 1280x1024 píxeles. Su alcance es de 4m, con una resolución de 2 cm. Si bien es cierto que esta cámara está diseñada para interiores, algunos autores han validado su uso en exteriores bajo ciertas limitaciones de iluminación (Azzari et al., 2013; Robledo et al., 2011).

Así, el objetivo de esta investigación es determinar si *Kinect* puede ser una alternativa de bajo coste al LIDAR para aplicaciones emergentes en agricultura, tales como pulverización y caracterización de la canopia como en el trabajo de Arnó y cols. (Arnó et al., 2013). Para ello se evaluó el desempeño del sensor *Kinect* en exteriores y se le comparó con un LIDAR.

Material y Métodos

Para realizar la comparación en condiciones de campo, se instaló un LIDAR modelo LMS-111 (Sick Ltd.) y una cámara *Kinect* Xbox 360, en el frontal de un tractor tele-operado (Figura 1a y b) desarrollado en el marco del proyecto europeo RHEA.



Figura 1. a) Montaje de la cámara RGB-D y LIDAR en el frontal del tractor. b) vista completa del tractor.

El LMS-111 tiene un ángulo de cobertura de 270°, un alcance de 18 a 20 m (Figura 2 a), un error típico de ± 3 cm y puede operar a frecuencias de 50 Hz y 25 Hz con resoluciones angulares de 0.5° y 0.25°. Para los ensayos se empleó una frecuencia de 50 Hz y una resolución angular de 0.5°. Esta selección de frecuencia de adquisición y resolución angular se debe a que garantizan un bajo número de datos fallidos.

Debido a que el LMS-111 realiza sólo un barrido por medición y a que se ubicó perpendicular al sentido de desplazamiento, la resolución en el sentido de avance del tractor estará determinada por la velocidad de éste. De este modo, como las mediciones son hechas a 50 Hz, si el tractor avanzase a 1 m s⁻¹, la resolución en la dirección de avance del tractor sería de 2 cm. Los datos provenientes del LMS-

111 fueron capturados en un ordenador portátil Dell modelo Latitude D620, a través de un puerto Ethernet y almacenados mediante el software SOPAS de Sick.

Kinect provee imágenes sincronizadas de profundidad y RGB de 640x480 píxeles a 30 Hz o de 320x240 a 60 Hz. Tiene un campo de visión de 57° horizontal y 43° vertical (Figura 2 b). Las imágenes de profundidad se obtienen a partir de un proyector laser IR y una cámara IR de 640x480 píxeles y 11 bits de precisión (Livingston et al., 2012).

A diferencia del LIDAR (que se basa en el principio de medir el tiempo de vuelo de pulsos laser individuales y luego barrer la escena a través del movimiento del láser), *Kinect* ilumina la escena completamente y obtiene una imagen de profundidad completa en cada secuencia de adquisición. La profundidad se calcula mediante la correlación y triangulación entre los patrones de puntos laser proyectados (capturados por la cámara IR) y el patrón de referencia almacenado en la memoria del sensor (Azzari et al., 2013).

Los errores reportados para este sensor (Khoshelham and Elberink, 2012) son típicamente de ± 1 cm a 2 m y ± 7 cm a 5 m. Los rangos óptimos de medición recomendados por Microsoft oscilan entre 1.2 y 3.5 m aunque algunos autores (Livingston et al., 2012) muestran que puede medir hasta 6 m. Los factores que influyen sobre los errores en la profundidad, son principalmente las condiciones de iluminación, la reflectividad del objetivo y el tamaño de las hojas en caso de la vegetación (Azzari et al., 2013).

Para la adquisición de las imágenes de profundidad se empleó una rutina desarrollada en el entorno Simulink de Matlab llamada “*Simulink Support for Kinect*” desarrollada por Chikamasa (Chikamasa, 2012) y modificada para esta investigación. Esta rutina permite gestionar la adquisición, almacenamiento y visualización de la información.

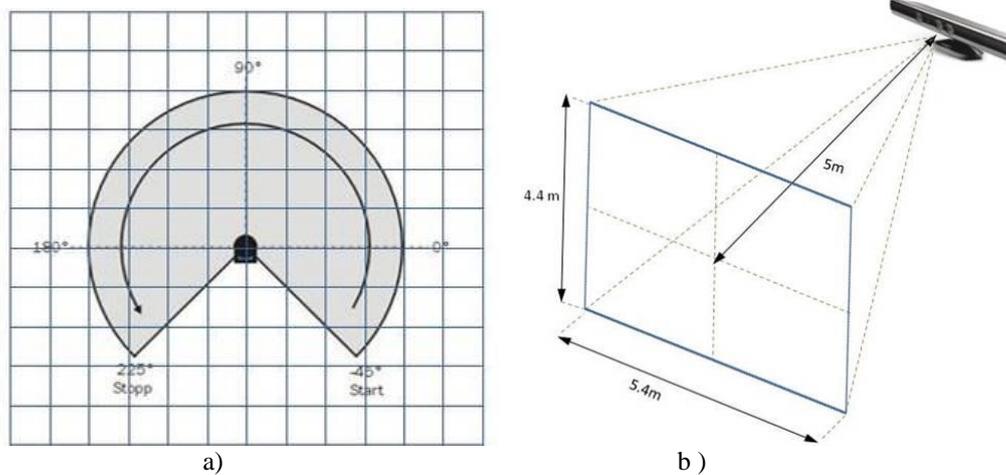


Figura 2. a) Campo de visión del LMS-111. b) Campo de visión de Kinect.

El tractor empleado es una unidad móvil automatizada basada en el modelo Boomer 3050 de New Holland, que tiene la capacidad de desplazarse a velocidad constante. El tractor realizó dos recorridos: el primer recorrido se efectuó en paralelo a un muro de 30x4.5 m y el segundo paralelo a una hilera de 6 olivos de 5 m de altura y 44.57 m de largo. El primer ensayo tuvo como propósito cuantificar la uniformidad de las mediciones de ambos sensores cuando se encuentran en movimiento, mientras que el segundo se orientó a validar los resultados en un cultivo real. Los recorridos se realizaron a cuatro marchas diferentes, con el objetivo de determinar si los diferentes regímenes de operación del motor influyen sobre la precisión de los sensores.

Resultados y Discusión

Estos ensayos se realizaron el 13 de enero de 2013 a partir de las 16:30 horas, aunque sólo se obtuvieron datos en *Kinect* a partir de las 18:30, cuando las condiciones de iluminación fueron inferiores a 7.5 kLux.

Ensayo 1 frente a un muro.

Para cuantificar los errores de ambos sensores, se midieron las distancias a un muro que provee de una referencia fija y permite eliminar otras fuentes de error. El tractor se ubicó a una distancia de 201 cm, medidos desde el centro del tractor donde se ubicó el LIDAR. Por otra parte *Kinect* fue instalada en un costado del tractor (Figura 1 a) a 177 cm del muro. Los recorridos se realizaron en cuatro marchas diferentes como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Resumen marchas, velocidades, resolución LIDAR en prueba con el muro.

Prueba	L=LIDAR K=Kinect	Marcha Tractor	Velocidad (m s ⁻¹)	Resolución horizontal LIDAR
Pared dinámica 1	Ida (L K)	1	0.21	0.42 cm
Pared dinámica 2	Ida (L K)	2	0.51	1.02 cm
Pared dinámica 3	Ida (L K)	3	1.00	1.99 cm
Pared dinámica 4	Ida (L K)	4	1.82	3.64 cm

En el caso del LIDAR, éste arroja una distancia media de 199.3 cm y desviación estándar de 1.94 cm, mientras *Kinect* muestra una distancia media de 177.0 cm y una desviación estándar de 0.9 cm.

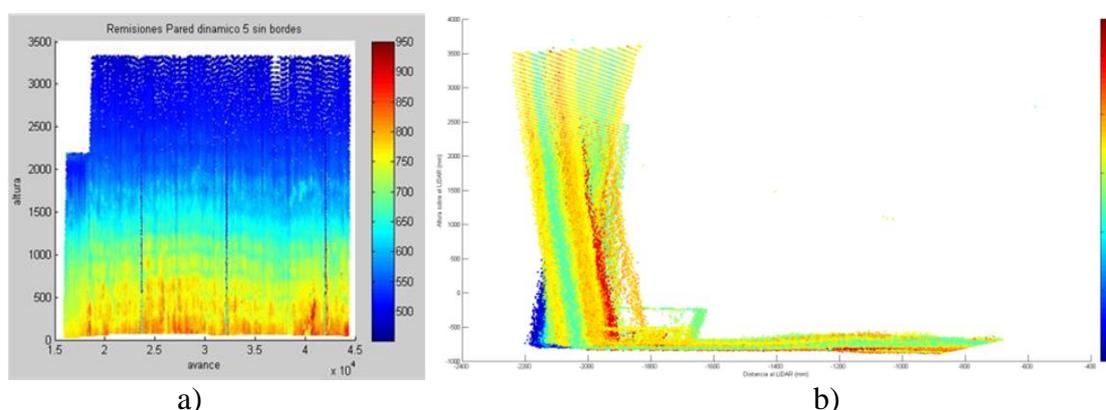


Figura 2. a) Mediciones del laser LMS-111. b) Reconstrucción frontal del muro (paralelo al avance del tractor).

Como se observa en la Figura 2 a y b, uno de los inconvenientes que presentan los LIDAR está en que no cuentan con un sistema de estabilización o un sensor de inclinación que permita establecer y corregir la inclinación del laser, lo que introduce un sesgo adicional en las mediciones.

Por el contrario *Kinect* abarca un área mayor en cada medición lo que hace que los errores en inclinación no la afecten de igual modo cuando las imágenes son tomadas en movimiento. Es más, debido a la frecuencia de adquisición, las imágenes se solapan generando un mapa aún más denso.

Se debe señalar que no se aprecia efecto de las vibraciones o movimientos bruscos sobre ambos sensores, lo que los hace adecuados para aplicaciones sobre sistemas móviles.

Ensayo 2 frente a una hilera de Olivos.

En la Figura 3 a y 3 b, se puede observar que a una distancia de 3 m respecto a la base del tronco, no es posible generar una imagen de profundidad completa de los olivos a partir de los datos entregados

por *Kinect*. Este hecho puede ser subsanado añadiendo una segunda *Kinect* (mayor campo de visión) o desplazando verticalmente el sensor (cambio de orientación), para fines de esta comparación, la configuración original no fue modificada.

Por otra parte el LIDAR permite generar una reconstrucción completa de los olivos, como se aprecia en las Figuras 4 a y b, aunque se observa una menor densidad de puntos cuando se compara con la imagen de la Figura 3 b generada por *Kinect*. La resolución de la imagen de *Kinect* es de 480x640 lo que implica que cada pixel tiene una dimensión de entre 0.6x0.6 cm y 0.73x0.73 cm en función de las distancias al objeto (3 m y 4 m respectivamente).

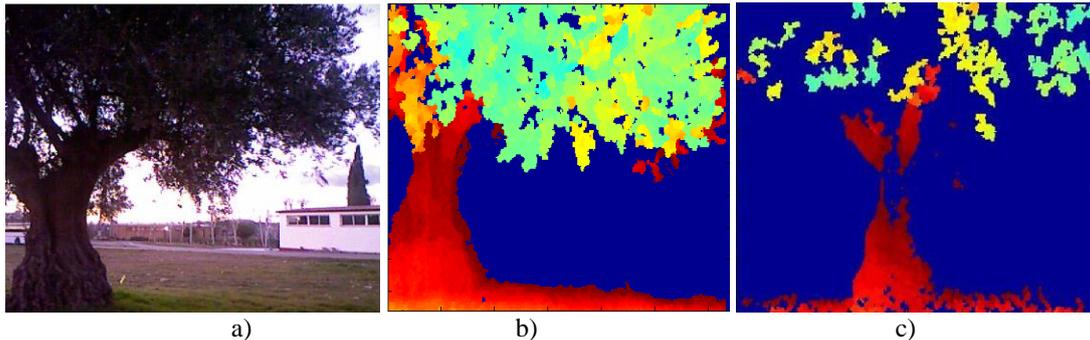


Figura 3. a) Imagen RGB de uno de los olivos. b) Imagen de profundidad generado por *Kinect*. b) Imagen de profundidad estática generado por *Kinect* a las 18:30.

Por el contrario la resolución vertical del LMS-111 a 3 m es de 4.23 cm y 6.41cm a 6.25 m. La segunda componente de la resolución es en la dirección del avance del tractor, por lo que depende de la velocidad de éste. En éste ensayo la velocidad oscilaron entre 0.26 y 2 ms⁻¹ por lo que las resoluciones en la dirección de avance del tractor oscilaron entre 0.5 y 4 cm como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen marchas, velocidades y resoluciones horizontales del LIDAR en prueba olivos.

Prueba	L=LIDAR K=Kinect	Marcha Tractor	Velocidad (m s ⁻¹)	Resolución horizontal LIDAR
Olivos dinámica 1	Ida (L K)	1	0.26	0.53 cm
Olivos dinámica 2	Vuelta (L)	2	0.65	1.29 cm
Olivos dinámica 3	Ida (L K)	3	1.24	2.48 cm
Olivos dinámica 4	Vuelta (L)	4	2.00	4.00 cm

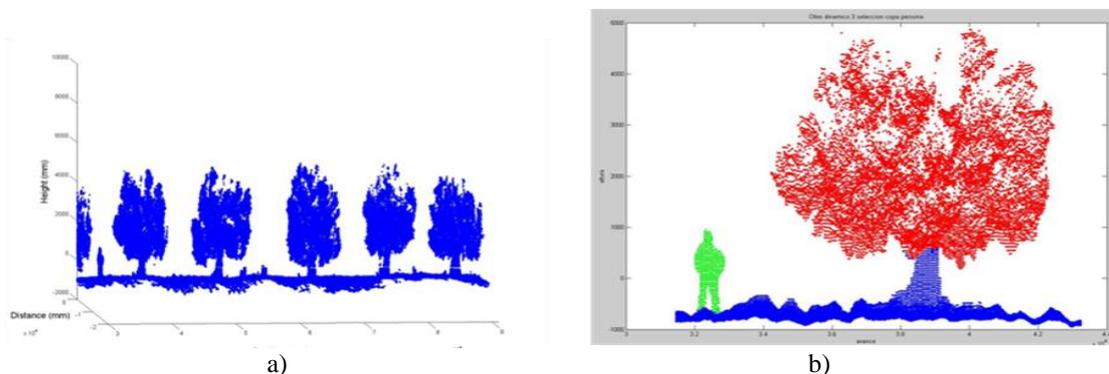


Figura 4. a) Reconstrucción 3D de la hilera de olivos. b) Detalle de reconstrucción 3D de un Olivo.

En la Figura 4 b se puede observar que la mitad superior del árbol aparentemente tiene una menor densidad. Esto es un efecto que se produce debido a que las hojas de la parte inferior obstruyen la línea de vista del láser, generándose de esta forma zonas no medidas.

Conclusiones

El dispositivo *Kinect* presenta unas características interesantes de resolución y frecuencia de adquisición, aunque se ve claramente afectado por la iluminación, hasta el punto de hacerlo inútil cuando está expuesto directamente a los rayos del sol. Esto limita notablemente su uso en exteriores, pero a pesar de dichas limitaciones puede ser una herramienta válida tanto por su calidad de desempeño como por su bajo coste, en particular para aplicaciones en vehículos autónomos que pueden operar durante la noche sin dificultades. Además, como muestran algunos autores (Azzari et al., 2013; Robledo et al., 2011) con ciertas limitaciones puede ser usado en exteriores, proveyendo rápidamente información, con precisiones y resoluciones adecuadas para la mayoría de las aplicaciones agrícolas.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación del presente trabajo a la COMISIÓN EUROPEA a través del proyecto RHEA. "Robot Fleets for Highly Effective Agriculture and Forestry Management" del 7 Programa Marco (proyecto nº 245986). Se agradece la contribución de todos los participantes en el proyecto: Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas – CSIC-CAR (Centro de Automática y Robótica, Instituto de Ciencias Agrarias, Instituto de Agricultura Sostenible), CogVis GmbH, Forschungszentrum Telekommunikation Wien Ltd., Cyberbotics Ltd, Università di Pisa, Universidad Complutense de Madrid, Tropical, Soluciones Agrícolas de Precisión S.L., Universidad Politécnica de Madrid-UPM (ETSI Agrónomos, ETSI Industriales), AirRobot GmbH & Co. KG, Università degli Studi di Firenze, Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture -IRSTEA, CNH Belgium NV, CNH France SA, Bluebotics S.A. and CM Srl. Agradecen de forma especial a Luis Emmi y Mariano González de Soto por su valiosa colaboración.

Bibliografía

- Arnó, J., Escolà, A., Vallès, J., Llorens, J., Sanz, R., Masip, J., Palacín, J., and Rosell-Polo, J. (2013). Leaf area index estimation in vineyards using a ground-based LiDAR scanner. *Precision Agriculture* 14, 290-306.
- Azzari, G., Goulden, M., and Rusu, R. (2013). Rapid Characterization of Vegetation Structure with a Microsoft Kinect Sensor. *Sensors* 13, 2384-2398.
- Balsari, P., Doruchowski, G., Marucco, P., Tamagnone, M., Zande, J. C. v. d., and Wenneker, M. (2008). A System for Adjusting the Spray Application to the Target Characteristics. *Agricultural Engineering International* 2008, 12.
- Chikamasa, T. (2012). Simulink Support for Kinect. pp. is a set of Simulink blocks which enables to make an interface between Simulink and a natural interaction device such as Microsoft Kinect. MathWorks, Natick, Massachusetts, Estados Unidos.
- Escolà, A., Rosell-Polo, J. R., Planas, S., Gil, E., Pomar, J., Camp, F., Llorens, J., and Solanelles, F. Variable rate sprayer. Part 1 – Orchard prototype: Design, implementation and validation. *Computers and Electronics in Agriculture*.
- Gil, E., Escolà, A., Rosell, J. R., Planas, S., and Val, L. (2007). Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. *Crop Protection* 26, 1287-1297.
- Khoshelham, K., and Elberink, S. O. (2012). Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for Indoor Mapping Applications. *Sensors* 12, 1437-1454.
- Livingston, M. A., Sebastian, J., Zhuming, A., and Decker, J. W. (2012). Performance measurements for the Microsoft Kinect skeleton. In "Virtual Reality Short Papers and Posters (VRW), 2012 IEEE", pp. 119-120.
- Robledo, A., Cossell, S., and Guivant, J. (2011). Outdoor Ride: Data Fusion of a 3D Kinect Camera installed in a Bicycle," Australasian Conference on Robotics and Automation. In "Australasian Conference on Robotics and Automation", Melbourne, Australia.
- Walklate, P. J., Cross, J. V., Richardson, G. M., Murray, R. A., and Baker, D. E. (2002). IT—Information Technology and the Human Interface: Comparison of Different Spray Volume Deposition Models Using LIDAR Measurements of Apple Orchards. *Biosystems Engineering* 82, 253-267.