

Validación de un Sistema de Posicionamiento Ultrasonico para Interiores

J. Francisco Presenza¹, Claudio D. Pose¹, Ignacio Mas^{3,4}, and Juan I. Giribet^{1,2,3}

¹GPSIC - Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina

²Instituto Argentino de Matemática “Alberto Calderón” (IAM)

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

⁴Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Argentina

Resumen—En el presente trabajo se contrastan dos sistemas comerciales de posicionamiento en interiores para robots móviles. En primer lugar, el sistema OptiTrack, con tecnología de captura de movimiento por imágenes, que posee alta confiabilidad y es utilizado como referencia. En segundo lugar, el sistema Marvelmind, con tecnología de ultrasonido y costo reducido. Es de especial interés estudiar la capacidad de estos sistemas para localizar múltiples vehículos. Para ello, se realizaron ensayos de posicionamiento con vehículos de diferente tipo, empleando ambos sistemas de manera simultánea. Se presentan los resultados obtenidos en los ensayos y algunas recomendaciones para su uso.

Keywords—OptiTrack, Marvelmind, posicionamiento, interiores, vehículos autónomos, robótica móvil

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, han surgido diversas aplicaciones que requieren el uso de robots móviles capaces de operar en ambientes cerrados, desde la realización de tareas domésticas hasta la exploración de entornos desconocidos han requerido el uso de estos robots, y en muchos casos robots capaces de trabajar de manera cooperativa. En tales aplicaciones, el conocimiento de la posición y orientación de los vehículos resulta fundamental. Esto ha incentivado el desarrollo de nuevas tecnologías de posicionamiento para ambientes interiores.

En ambientes exteriores, se ha extendido el uso de los Sistemas Globales de Navegación por Satélites (GNSS, en inglés) y magnetómetros, combinados con Unidades Inerciales (IMU, en inglés). Sin embargo, esta configuración no es propicia en ambientes interiores. En primer lugar, debido a que no existe línea de visión directa a los satélites. Por otro lado, las mediciones del campo magnético no son confiables por las posibles desviaciones generadas por las estructuras en donde se está intentando navegar. Sin estas mediciones, la IMU acumula errores rápidamente y se vuelve inutilizable, salvo que se cuente con sensores inerciales de alta precisión, los cuales son de costo elevado y de gran peso y tamaño como para ser instaladas en pequeños robots. Por este motivo, otras tecnologías específicas deben ser desarrolladas.

En la actualidad, existen diversos sistemas de posicionamiento en ambientes interiores. Entre las tecnologías más destacadas se encuentran RFID (Radio-Frequency Identification,

en inglés)[1], Ultra Wide Band (UWB) [2, 3], cámaras RGB [4, 5], sensores LIDAR [6] y sensores de ultrasonido [5, 7].

Los sistemas de captura de movimiento por cámaras RGB, como el OptiTrack, presentan una alta precisión y se adaptan correctamente a la multiplicidad de vehículos. No obstante, son susceptibles a obstrucciones visuales y al nivel de iluminación del ambiente, lo que exige reforzar el número de cámaras, aumentando el costo de la instalación. Una alternativa de menor costo es el sistema WhyCon [8] o extensiones a este sistema [9], los cuales utilizan localización por imágenes basado en marcadores, estos son sistemas de código abierto y bajos requerimientos computacionales. Alternativas como los sensores de imagen tipo Kinetic [10] también han sido utilizadas para este tipo de aplicaciones.

Recientemente, sistemas de ultrasonido como el desarrollado por Marvelmind Robotics han demostrado conseguir buenos resultados con costos reducidos. Esto, ha atraído el interés de los investigadores y usuarios [11, 12]. Sin embargo, la precisión de este sistema depende de las propiedades del área circundante (las señales de ultrasonido pueden rebotar o ser absorbidas por otros materiales), y del objeto que se desee posicionar (partes del vehículo en movimiento pueden interferir en las señales). Por este motivo merece ser estudiado.

En este trabajo se propone estudiar y comparar las prestaciones de los sistemas OptiTrack y Marvelmind. Este estudio es de particular interés tanto para los desarrollos futuros del grupo en el área de robótica móvil, como para otros grupos de investigación que tengan o estén interesados en utilizar este tipo de tecnologías para sus trabajos futuros. En esta evaluación se realizaron ensayos de posicionamiento con dos vehículos: uno terrestre y uno aéreo. El OptiTrack, de extendido uso y precisión milimétrica, será utilizado como referencia en las mediciones. Ambos sistemas representan los más recientes avances de sus respectivas tecnologías, lo que permite extender los resultados obtenidos a la tecnología en general.

II. SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO

II-A. Sistema OptiTrack

Es un sistema basado en estereofotogrametría donde las coordenadas tridimensionales de los vehículos son captadas a través de dos o más imágenes fotográficas tomadas desde

Email: francisco.presenza@gmail.com



Figura 1: Sensores. A la izquierda: arreglo triangular de marcadores infrarrojos. A la derecha: dispositivos de ultrasonido.

diferentes posiciones. Es un sistema muy utilizado debido a su alta precisión y confiabilidad. Sus principales aplicaciones incluyen la robótica, realidad virtual, ciencias del movimiento y animación.

El sistema OptiTrack consiste de dos o más cámaras infrarrojas que cubren un volumen observable, donde cada vehículo cuenta con un número de marcadores reflexivos a la luz infrarroja. Los datos captados por el conjunto de cámaras son enviados a una computadora central que corre un software propietario, donde se procesa la información y se estima la posición de los marcadores respecto de un sistema de referencia fijo por medio de algoritmos de trilateración. Es posible obtener no sólo la posición de un vehículo, sino también la orientación del mismo, mediante el uso de al menos tres marcadores dispuestos en un arreglo asimétrico para evitar ambigüedades. Para ello, este sistema provee un conjunto de pequeñas piezas plásticas donde pueden montarse los marcadores, como se muestra en la Fig. 1 (izq.). El sistema detecta los tres marcadores y obtiene la posición XYZ del vehículo a partir del cálculo del centro geométrico del conjunto. A su vez, la orientación es obtenida a través de la posición relativa de los marcadores detectados, aprovechando la asimetría del arreglo.

El sistema requiere de una calibración inicial precisa, donde debe asegurarse que la posición de cada cámara sea fija tanto durante este proceso, como en la duración de los experimentos que se lleven a cabo, ya que incluso un desplazamiento de unos pocos milímetros de alguna de ellas puede llevar a grandes errores de estimación de la posición. Además, debe asegurarse que en el rango de visión de la cámara no existan fuentes de emisión infrarroja, como luz directa o reflejada de rayos de sol, o luminarias que emitan en ese espectro. Una vez terminada la calibración, el sistema informa la precisión con la que es capaz de estimar la posición de los marcadores, la cual, de ser correctamente realizada, alcanza las décimas de milímetro. Dada la alta precisión y confiabilidad de este sistema, la cual ha sido estudiada y probada extensivamente, en este trabajo se toma la estimación de posición del mismo como el valor verdadero, y se lo utiliza como punto de referencia.

Optitrack ofrece una gran variedad de modelos con distintos rendimientos. Las mismas ofrecen diferentes capacidades en resolución (0,3–4,1 MegaPixel), frecuencia de imagen (100–360 Hz), campo de visión (38–82°), tiempo de retardo (10–2,8 ms), cantidad de LEDs (0–170), y precio. En este trabajo

se utilizó el modelo de cámara Flex 3 diseñada para detectar movimientos milimétricos. Cada sensor captura imágenes de resolución VGA de 640×480 píxeles a una tasa máxima de 100 Hz, y cuenta con un anillo de 26 LEDs infrarrojos, presentando un ángulo de visión horizontal de 46° y un ángulo de visión vertical de 35°.

II-B. Marvelmind Robotics

Este sistema de posicionamiento está compuesto por una red de dispositivos de ultrasonido fijos (stationary beacons) y uno o más dispositivos móviles (mobile beacons) (Fig. 1), donde todos los elementos se comunican con un modem central, el cual se encarga del procesamiento de datos. La localización del dispositivo móvil es calculada utilizando trilateración, a partir del tiempo de vuelo de una señal de ultrasonido enviada por cada móvil a los dispositivos fijos o viceversa. El sistema es versátil en cuanto a que cualquiera de los beacons puede ser configurado como móvil o fijo según las necesidades. Sus principales usos incluyen robótica, realidad virtual, localización de personas y objetos en minería y en la industria, entre otros.

Previamente a la utilización del sistema, es necesaria una calibración inicial, para generar un mapa donde se reconozcan todos los dispositivos fijos y sus posiciones, las cuales se deben mantener durante todo el ensayo (de manera similar a los sistemas GNSS que requieren el conocimiento de las posiciones de los satélites). Una vez obtenido el mapa, queda definido un sistema de referencia sobre el cual se calculan las posiciones de los dispositivos móviles.

Al menos dos dispositivos fijos son necesarios para estimar la posición en un plano XY , con la posibilidad de utilizar dos dispositivos móviles en un mismo vehículo, a una distancia fija mayor o igual a 30 cm entre ellos, para estimar también la orientación. Para el posicionamiento en $3D$, se necesitan tres o más beacon fijos, sin posibilidad de estimar la orientación utilizando el software provisto por el fabricante, aunque es posible mediante el procesamiento de los datos de posición individuales de cada beacon móvil.

El sistema presenta una ambigüedad en la estimación de la altura Z de los móviles, en caso de distribuir los dispositivos fijos en un plano horizontal XY , todos a la misma altura, una práctica común para este sistema de localización. Esto se debe a que, como el posicionamiento se obtiene midiendo el tiempo de vuelo de una señal de ultrasonido, el sistema puede estimar correctamente las coordenadas XY del móvil, pero no es capaz de determinar si el mismo se encuentra por arriba o por debajo del plano horizontal mencionado. Para evitar este inconveniente, en la práctica se mantienen los vehículos siempre por debajo o siempre por arriba de dicho plano.

Entre las prestaciones de los diferentes modelos de sensores ultrasónicos producidos por Marvelmind se especifica una precisión de ± 2 cm en la estimación de la distancia entre dos beacons, una distancia permitida máxima entre dispositivos fijos (30–50m), área de cobertura (500–1500m) y tasa de actualización de la posición (8–45Hz). Además, algunos modelos cuentan con una unidad de mediciones inerciales que permite

la fusión de datos, de forma de proveer datos de posición a tasas de hasta 200Hz.

A su vez, existen dos tipos de configuraciones: Arquitectura Inversa y No Inversa. En la primera, los dispositivos fijos emiten las señales de ultrasonido, y cada uno de los móviles las reciben y calculan su propia posición. De esta manera, todos los móviles calculan su posición al mismo tiempo, por lo cual la tasa de actualización de la posición no se ve afectada por el agregado de más beacons móviles. Esta arquitectura no se recomienda para su uso con drones, o donde el vehículo sea ruidoso, ya que se produce interferencia en la recepción de la señal de ultrasonido, llevando a errores en el cálculo de posición.

En cambio, con la Arquitectura No Inversa, cada beacon móvil emite un pulso de ultrasonido, cada beacon fijo lo recibe, y se envían los datos al módem central que los procesa y calcula la posición. En este caso no es posible que dos beacons móviles emitan un pulso al mismo tiempo, con lo cual van tomando turnos consecutivos. Con esta arquitectura, al agregar dispositivos móviles se reduce la tasa de actualización, a razón de $\frac{1}{n}$, siendo n el número de móviles. Una característica conveniente de este sistema, es que, cuando el módem central calcula la posición de cada uno de los beacons móviles, el dato es enviado a toda la red de sensores, con lo cual cada vehículo no sólo recibe los datos de su propia posición, sino también de los otros vehículos. Esta información, además, está disponible en cada uno de los beacons fijos.

En este trabajo se utilizó el modelo HW v4.9, diseñado con Arquitectura No Inversa. Cada beacon cuenta con cinco transductores ultrasónicos, cada uno de los cuales cubre un cono de 90° de amplitud. Este modelo puede cubrir un área máxima de 1000 m² utilizando cuatro beacons fijos. La tasa de actualización de datos de posición se puede configurar de 0,05 Hz a 45 Hz. Sin embargo, este valor se ve afectado por la cantidad de dispositivos móviles, y por la distancia entre éstos y los fijos. A mayor distancia, se requiere un mayor recorrido de las señales y se obtiene menor tasa de actualización. La comunicación entre los dispositivos tanto fijos como móviles, y el módem central se realiza a través de señales de radio a 915 MHz.

III. ENSAYOS EXPERIMENTALES

Para el estudio de los sistemas de posicionamiento considerados, se realizaron ensayos en un ambiente interior, donde los mismos fueron instalados y calibrados. Se definió el plano XY de los sistemas de manera coincidente con el plano del piso, y el eje Z positivo hacia arriba.

Se utilizaron dos vehículos móviles, uno terrestre y uno aéreo, sobre los cuales se montó un arreglo triangular de marcadores infrarrojos y un dispositivo ultrasónico móvil. Se obtuvieron datos de posicionamiento de los vehículos con ambos sistemas funcionando en forma simultánea para poder compararlos. Se excluyó del estudio la orientación de los vehículos y se centró el estudio en el desempeño como sensor de posición.

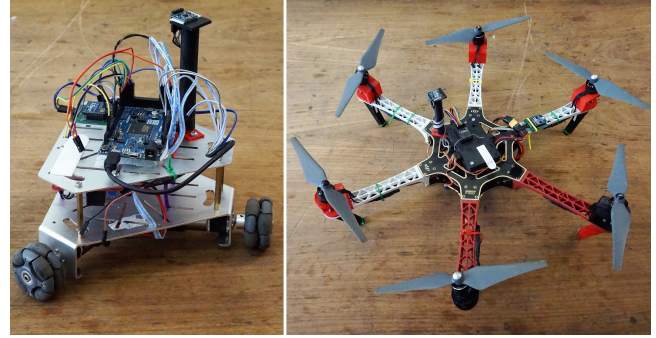


Figura 2: Izq.: Vehículo omnidireccional (OmniDuino). Der.: Vehículo hexarotor.

III-A. Vehículos utilizados

Como primer vehículo se utilizó un sistema terrestre dotado con tres ruedas omnidireccionales traccionadas por motores de 12 V de CC que le permiten moverse sin restricciones en el plano XY, controlado a través de una placa Arduino Due, denominado OmniDuino (Fig. 2, Izq.). El segundo vehículo es un hexarotor como se muestra en la Fig. 2, (Der.), el cual puede moverse libremente en el espacio XYZ.

En ambos vehículos se ubicó un beacon móvil del sistema Marvelmind, el cual otorga datos por un puerto serie a la misma frecuencia que efectúa la estimación de la posición, y cada vehículo transmite un conjunto de datos (incluido el de posición) a una PC mediante una conexión inalámbrica XBee.

A diferencia del OmniDuino, en el hexarotor los propulsores producen flujo de aire que puede generar interferencias en el sistema de ultrasonido, resultando en errores de estimación de la posición del Marvelmind. Además, debido a las maniobras que realiza el vehículo en el aire, es posible que se produzcan oclusiones temporales en las líneas de visión directa entre el beacon móvil y algunos de los beacons fijos, lo cual también puede provocar errores en la estimación de posición.

Sobre ambos vehículos se colocó un arreglo triangular de marcadores infrarrojos, de manera tal que ningún elemento del mismo interfiera con la línea de visión entre los marcadores y las cámaras. Estas envían, vía USB, las imágenes tomadas a una PC que las procesa para estimar la posición de los marcadores, utilizando software propio del sistema OptiTrack.

III-B. Configuración de los sistemas

Los ensayos fueron realizados en una sala cerrada de aproximadamente 180 m², y 10 m de altura. A 1 m de la pared se encuentran 8 columnas verticales, ubicadas a 5 m de distancia entre sí, formando un área cuadrada como se indica en la Fig. 3. Sobre las mismas se colocaron los sensores de ambos sistemas de manera de obtener la mayor área de cobertura posible. Se distribuyeron 16 cámaras OptiTrack a una altura de 1,4 m y 2,8 m respectivamente sobre cada columna, cubriendo un área de 100 m².

Los sensores de ultrasonido fijos fueron repartidos en dos configuraciones diferentes. La configuración A se diseñó para

cubrir el mayor área posible, por lo que se colocaron los dispositivos fijos sobre las columnas 2, 4, 6 y 8 a 2,4 m de altura, cubriendo un área de 50 m^2 (Fig. 3 - izquierda). La configuración B fue propuesta por dos motivos: el primero, para evaluar el impacto de la distancia recorrida por las señales ultrasónicas en el posicionamiento. Debido a que la tasa de actualización de datos depende de la distancia entre los sensores fijos, se acercaron los mismos en una nueva disposición (soportes 2', 4', 6' y 8'), cubriendo un área de $12,5 \text{ m}^2$ (Fig. 3 - derecha). Para no obstruir la visión de las cámaras, los sensores fijos fueron ubicados a 40 cm del suelo. Esto produce la ambigüedad presentada en II-B, sobre la estimación de la altura Z cuando el hexarotor supera los 40 cm. Por este motivo, los valores obtenidos de la altura Z con la configuración B no son útiles. El segundo motivo por el que se propuso esta configuración es estudiar si la presencia de la pared, a 1 m de los dispositivos, puede producir rebotes en las señales acústicas que interfieran con las originales e introduzcan errores en el cálculo de posición.

III-C. Ensayo de Posicionamiento

Se presentan los datos de posicionamiento de cuatro ensayos realizados. Con la configuración A, en primer lugar los vehículos moviéndose en el espacio individualmente y luego con ambos vehículos a la vez. Con la configuración B, se repitieron los movimientos: primero de manera individual y luego en conjunto. Los datos de posicionamiento del OptiTrack, se obtuvieron a tasa fija igual a 100 Hz. El sistema Marvelmind fue configurado para proveer datos a una tasa máxima de 8 Hz.

Ambos vehículos fueron comandados manualmente, realizando maniobras aleatorias, tanto suaves como agresivas, dentro del espacio observable por ambos sistemas de posicionamiento. En los ensayos con la configuración A, la altura de vuelo del hexarotor se mantuvo debajo de 1,5 m para ubicarlo siempre por debajo del plano de los Marvelmind.

En las Fig. 5 y 4 se muestran los datos de posicionamiento obtenidos por el sistema OptiTrack para los cuatro ensayos mencionados, en 3 dimensiones para el hexarotor y en el plano XY para el OmniDuino. En las Fig. 6 y 7 se observan los

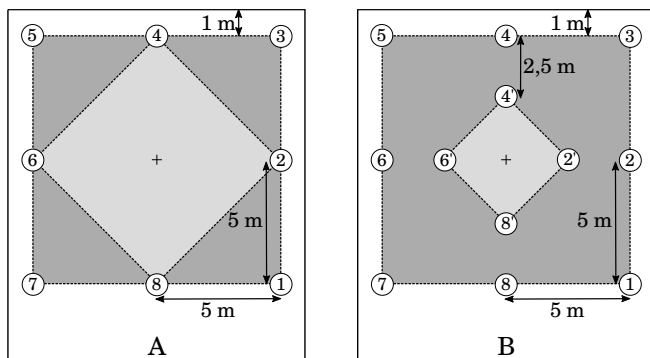


Figura 3: Distribución de los sensores: En las columna 1–8 se ubican las cámaras. Izquierda: configuración A de los dispositivos ultrasónicos, derecha: configuración B.

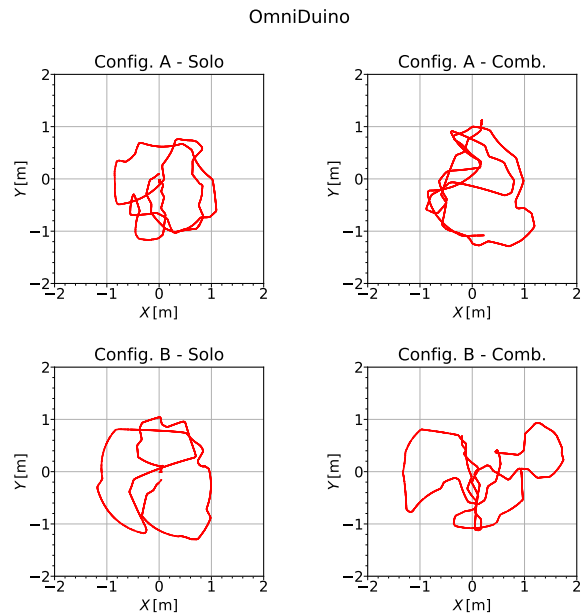


Figura 4: Trayectorias realizadas por el OmniDuino.

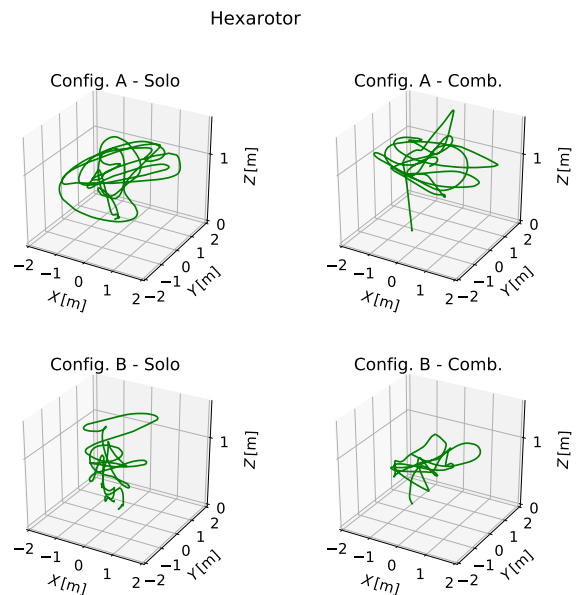


Figura 5: Trayectorias realizadas por el hexarotor.

errores del Marvelmind en la estimación de la posición de los vehículos.

Para los experimentos en la configuración A, donde cada vehículo se desplaza individualmente, se observa una buena precisión en la estimación del sistema Marvelmind de la posición del OmniDuino, con errores menores a 0,1 m en todo instante de tiempo. Para el caso del hexarotor, se observan

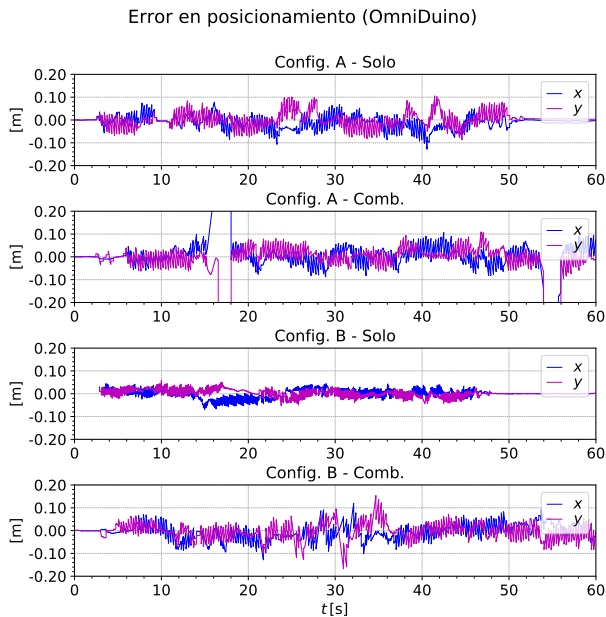


Figura 6: Error en la estimación de la posición - OmniDuino.

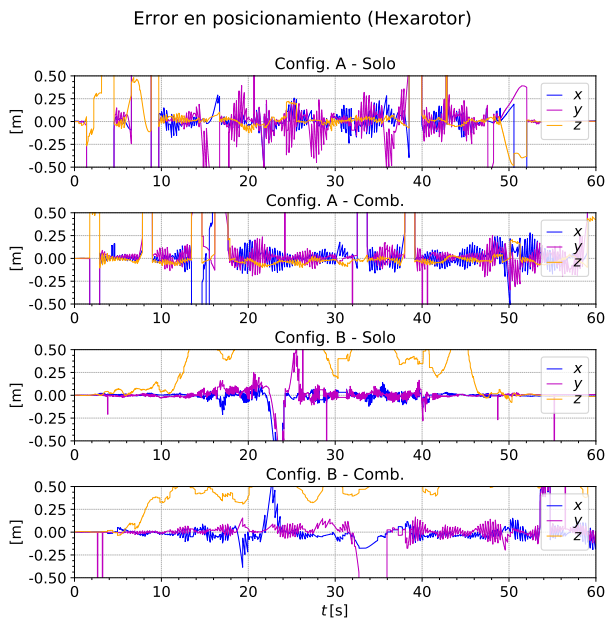


Figura 7: Error en la estimación de la posición - Hexarotor.

fuertes discrepancias tanto al inicio como al fin del vuelo, que corresponde a los instantes de despegue y aterrizaje, donde es posible que la interferencia acústica sea mayor debido al efecto suelo. También se encuentra una pérdida de estimación de la posición a los 38 s del experimento, coincidente con una maniobra agresiva de rotación y aceleración lateral. Durante el resto del experimento, el error se mantiene en torno a los

0,25 m.

En el caso del movimiento conjunto de los vehículos en la misma configuración, para el OmniDuino se observa un comportamiento similar del error de estimación, excepto a los 15 s y 54 s del experimento, donde el hexarotor fue posicionado sobre el OmniDuino a una corta distancia, de manera de observar el efecto de la oclusión y la generación de ruido en la estimación. Para el hexarotor, se vuelven a encontrar errores en el despegue y aterrizaje, y pérdida de estimación a los 8 s, 32 s y 38 s debido a maniobras agresivas. Los errores de estimación entre 14 s y 18 s se atribuyen al vuelo cerca del suelo de manera similar al despegue, cuando se ubicó al mismo sobre el OmniDuino. Durante el resto del experimento, el error vuelve a mantenerse en torno a los 0,25 m.

Para los experimentos en la configuración B, en los experimentos individuales se observó una mejora en la estimación de la posición del OmniDuino, donde el error se mantuvo menor a 0,05 m durante la mayor parte del experimento. Para el vehículo hexarotor también se notó una mejora en la estimación, ya que durante la mayor parte del vuelo el error es menor a 0,1 m, con errores mucho menores en el despegue y aterrizaje. Entre los 22 s y 26 s, el hexarotor se ubicó por encima, a corta distancia, de uno de los beacons fijos, para provocar tanto oclusión como ruido en el mismo, lo que lleva a un error de estimación de la posición. Debe notarse que, al ubicar los beacons fijos a 0,4 m del suelo y posicionarse tanto por encima como por debajo de ese nivel, la estimación de la altura no es correcta.

Por último, en el caso del movimiento conjunto, puede observarse que el error de estimación tanto en el OmniDuino como en el hexarotor es mayor que en el caso anterior, lo cual posiblemente es causado por los vehículos moviéndose en un espacio más reducido, donde el ruido producido por el hexarotor afecta más a la estimación de la posición de ambos vehículos. En este experimento también se posicionó el hexarotor sobre el OmniDuino entre 18 s y 24 s, aunque en este caso el último no presentó errores de estimación. Entre los 30 s y 36 s el hexarotor volvió a posicionarse directamente sobre uno de los beacons fijos, generando una estimación más ruidosa, pero sin embargo buena, de la posición del OmniDuino, mientras que la estimación del hexarotor empeoró considerablemente, indicando que los efectos de la oclusión son peores en la estimación, que la generación de ruido en las cercanías de un beacon.

III-D. Ensayo de Tiempo de Retardo

Para realizar diversos ajustes y suavizados en la estimación de la posición, Marvelmind ofrece un filtro que realiza un promedio móvil de los últimos k datos de posicionamiento, siendo k un número entero de 0 a 16. Este filtro permite mejorar el posicionamiento al reducir el efecto de datos espurios y errores de cálculo, aunque genera retardos que crecen al aumentar k .

Para evaluar el aumento de este retardo a medida que se aumenta la cantidad de datos promediados, se realizó un ensayo que permite evaluar el tiempo de establecimiento una señal

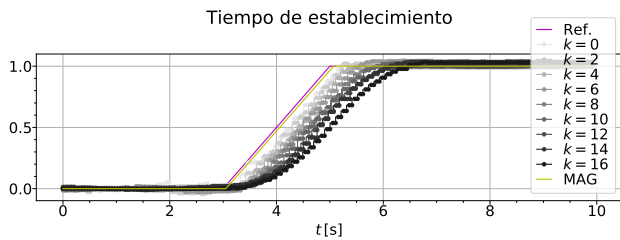


Figura 8: Tiempo de retardo de las señales de Marvelmind para distintos valores de k .

generada por el sistema Marvelmind, para distintos valores de k . Para ello se requieren datos simultáneos tomados al mismo tiempo, para lo cual se utilizó el magnetómetro montado en el OmniDuino, junto a dos beacons móviles montados sobre el OmniDuino a la misma altura, y a una distancia fija de 30 cm, que permite calcular la orientación del vehículo en el plano XY. El vehículo fue configurado para realizar una rotación de 1 rad de respecto del eje Z.

Se realizaron 8 ensayos en las mismas condiciones, con k tomando valores pares de 0 a 16. Con los datos de orientación obtenidos, se generaron las curvas de establecimiento de las señales mostradas en Fig. 8.

En todos los experimentos, se genera una referencia que varía desde 0 rad a 1 rad en un lapso de 2 s, comenzando en 3 s. La pequeña demora entre la señal comandada y la medición del magnetómetro, corresponde a la dinámica del vehículo. Con respecto a la estimación de orientación, para el caso con $k = 0$, existe un retardo de 125 ms, correspondiente a la tasa de estimación de datos del sistema Marvelmind a 8 Hz. Luego, se observa que el tiempo de establecimiento de la señal aumenta a medida que k lo hace, hasta llegar a 2,125 s, correspondiente a un promedio móvil de 16 muestras, para una tasa de 8 Hz.

IV. DISCUSIÓN

Se observa en los experimentos que la precisión de la estimación en la posición es mejor y menos ruidosa para un vehículo que no produce interferencias apreciables en el rango acústico. Además, las oclusiones entre beacons se muestran frecuentes en el hexarotor, con lo cual se deben ubicar los beacons fijos considerando de antemano todas las posibles maniobras que pueda realizar un vehículo de este tipo.

Por otro lado, al disponer los beacons fijos en posiciones más cercanas entre sí, se redujo el ruido en la estimación de la posición. Este fenómeno no aparenta ser causado por una menor distancia entre beacons fijos y móviles (ya que la precisión teórica del sistema no varía con este parámetro), sino más bien por una mayor distancia a las paredes del recinto, el cual posee una alta reverberación acústica, provocando rebotes de las señales de ultrasonido y un efecto multipath.

El sistema Marvelmind ofrece un buen rendimiento a un bajo costo, considerando que un sistema de 4 beacons fijos, un beacon móvil, y un módem central tiene un precio de US\$400, con respecto a un kit básico de Optitrack (3 cámaras y licencia de software anual) el cual se ubica en los US\$4700.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Laboratorio de Captura de Movimiento del Instituto Tecnológico de Buenos Aires por compartir sus instalaciones para realizar los experimentos. Este trabajo fue financiado por el subsidio FONCYT PICT 2016-2016, de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Argentina y el subsidio ITBACyT DT13/2018.

REFERENCIAS

- [1] S. S. Saab and Z. S. Nakad. A standalone rfid indoor positioning system using passive tags. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(5):1961–1970, May 2011.
- [2] Yusnita ' Rahayu, Thuhairah Hasrah Abdul Rahman, Razali Ngah, and P. S. Hall. Ultra wideband technology and its applications. *2008 5th IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN '08)*, pages 1–5, 2008.
- [3] Abdulrahman Alarifi and et al. Ultra wideband indoor positioning technologies: Analysis and recent advances. *Sensors*, 16(5), 2016.
- [4] Wang Su, Abhijeet Ravankar, Ankit Ravankar, Yukinori Kobayashi, and Takanori Emaru. Uav pose estimation using ir and rgb cameras. In *2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, pages 151–156, 12 2017.
- [5] Hong'an Yang, Xuefeng Bao, Shaohua Zhang, and Xu Wang. A multi-robot formation platform based on an indoor global positioning system. *Applied Sciences*, 9(6), 2019.
- [6] Jiangyang Huang, S. M. Farritor, A. Qadi, and S. Goddard. Localization and follow-the-leader control of a heterogeneous group of mobile robots. *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, 11(2):205–215, April 2006.
- [7] Dennis Laurijssen and et al. An ultrasonic six degrees-of-freedom pose estimation sensor. *IEEE Sensors Journal*, 17:1–1, 01 2016.
- [8] Tomáš Krajník, Matías Nitsche, Jan Faigl, Petr Vaněk, Martin Saska, Libor Přeučil, Tom Duckett, and Marta Mejail. A practical multirobot localization system. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 76:539–562, 2014.
- [9] M. Nitsche F. Pessacg, T. Fischer. Localización externa para robots móviles utilizando múltiples cámaras. In *XI Jornadas Argentinas de Robótica*, 2017.
- [10] Mohammad Kia, Kaveh Razzaghi, and Behshad Mohebbi. A novel position sensor in mobile robots motion control. In *RoboCup IranOpen 2012 Symposium and 2nd Iran's Joint Conference of Robotics & AI*, 04 2012.
- [11] Ahmet Yazici, Ugur Yayan, and Hikmet Yucel. An ultrasonic based indoor positioning system. *2011 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, pages 585–589, 06 2011.
- [12] E Diaz and et al. Ultrasonic indoor positioning for smart environments: A mobile application. In *2017 4th Experiment@ International Conference (exp.at'17)*, pages 280–285, 06 2017.