

Calibración de Sistemas de Múltiples Cámaras

Diego González Dondo, Fernando Trasobares, Leandro Yoaquino, Julián Padilla, Javier Redolfi

*Centro de Investigación en Informática para la Ingeniería (CIII)
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Córdoba, Argentina.
dgonzalez@scdt.frc.utn.edu.ar, jredolfi@frc.utn.edu.ar*

Resumen— Para el uso de sistemas de múltiples cámaras en aplicaciones de seguimiento es necesario conocer la posición y orientación de cada una de ellas en un sistema de coordenadas global. En este trabajo se describe el desarrollo y la implementación de un método de calibración extrínseca de sistemas de múltiples cámaras. Se presenta un análisis teórico de las distintas etapas del proceso de calibración, mencionando los métodos y las herramientas. También se propone el uso de un nuevo tipo de patrón de calibración extrínseca. Se demuestra la validez del método propuesto en experimentos sencillos y en una configuración real de múltiples cámaras IP.

Palabras Clave— Calibración Extrínseca, Calibración Intrínseca, Sistemas Multi-Cámaras, Patrón de calibración

1. INTRODUCCIÓN

Es común en aplicaciones de robótica la necesidad de conocer la ubicación de un robot en un marco de referencia dado. Cuando se trabaja en ambientes exteriores, la solución más común es el uso de GPS, pero en ambientes interiores esta solución se vuelve inviable. En estos casos el recurso de la odometría por medio de encoders para obtener la ubicación absoluta es también problemática debido al error acumulado por los mismos [1]. En otras aplicaciones, es necesario determinar la ubicación de personas u objetos, sin la intervención de los mismos en el cálculo [2]. El empleo de cámaras que permitan el seguimiento o tracking de objetos constituye una de las soluciones más utilizadas en este tipo de aplicaciones [3, 4, 5].

Un sistema de múltiples cámaras es un conjunto de cámaras desplegadas en un área determinada. El empleo de estos sistemas se ha extendido notablemente en los últimos años debido al bajo costo de los mismos y a su gran capacidad para generar información. Entre los usos más comunes podemos nombrar sistemas de seguridad, vigilancia, control de acceso, análisis de situaciones deportivas, monitorización del tráfico, navegación autónoma, entre otras [4, 5]. También en el ámbito académico y de investigación, son usados en sistemas de seguimiento y guiado de vehículos autónomos y robots [3, 6, 7].

En un sistema de seguimiento o tracking el objetivo es determinar la posición de un objeto en un marco de referencia predeterminado. En el caso de ambientes de tra-

bajo interiores los sensores más utilizados para realizar estas mediciones son las cámaras. Estas tienen la desventaja de tener un rango de trabajo acotado debido a que existe una solución de compromiso entre el campo de visión y la resolución requerida por el problema. Debido a ello, normalmente la mejor solución consiste en el uso de múltiples cámaras, ubicadas adecuadamente, de tal manera que abarquen la mayor área posible sin detrimento de la resolución.

Para realizar el seguimiento de un objetivo con un sistema de múltiples cámaras se hace necesario (i) determinar la posición de cada cámara con respecto a un marco de referencia global y (ii) desarrollar un algoritmo capaz de detectar un objetivo en una secuencia de imágenes.

La determinación de la posición de cada cámara con respecto al marco de referencia global es conocida como calibración extrínseca. En este trabajo se plantea el desarrollo de una aplicación de software capaz de realizar la calibración de múltiples cámaras con la menor intervención posible del usuario. El mismo se encuentra disponible en [8].

En la sección 2 se describen proyectos similares, y se mencionan las virtudes y desventajas de cada uno de ellos. En 3 se realiza un análisis detallado del método utilizado en este trabajo. Los diferentes experimentos realizados para la verificación del funcionamiento del método planteado se presentan en 4. Finalmente, en 5 se realiza un análisis de los resultados obtenidos, y se proponen posibles futuras modificaciones.

2. TRABAJOS RELACIONADOS

Uno de los primeros trabajos analizados fue el que se presenta en [9], el cual consiste en el desarrollo de un método de calibración de múltiples cámaras que utiliza un patrón de calibración plano el cual permite la calibración extrínseca entre las cámaras que lo están observando en un determinado momento. Luego esta calibración entre cámaras es expresada en un marco de referencia global. Este trabajo posee una documentación extensa y ordenada, con detalles precisos sobre el patrón utilizado y además cuenta con un dataset que permite poner a prueba el método presentado. Sin embargo, las desventajas de este proyecto son: está basado en las bibliotecas OpenCV 1.0 (las cuáles son obsoletas), no se pueden calibrar sistemas con más de 4 cámaras y que la aplicación disponible no permite la propagación de la calibración entre las

cámaras como afirman en el trabajo.

Otro de los trabajos analizados es el que se presenta en [10], el cual consiste en un paquete de software implementado en Matlab para realizar la calibración completa y automática de un sistema de múltiples cámaras utilizando como elemento de detección un simple puntero láser. Pero debido a la confusa documentación se hizo imposible el uso del mismo. Otra de las desventajas de este trabajo es que la calibración no es métrica, sino hasta un factor de escala.

Otro de los métodos disponibles en la literatura es el desarrollado en [11], que utiliza un novedoso patrón para la calibración del sistema. El trabajo es acompañado con una aplicación de Matlab muy sencilla de utilizar. El problema de este trabajo es que al igual que el anterior, la información de calibración entregada es hasta un factor de escala.

Después de probar los distintos paquetes de software que acompañaban a los trabajos analizados, se llegó a la conclusión, de que por diversas razones (no actualizados, sin documentación, resultados no métricos, etc) era necesario desarrollar un software de calibración métrica extrínseca de múltiples cámaras, disponible para la comunidad, con su debida documentación de uso y usando bibliotecas de procesamiento de imágenes actualizadas.

3. MÉTODO PROPUESTO

El método propuesto esta basado en la calibración estéreo entre pares de cámaras del sistema y luego la transformación de estas calibraciones a un marco de referencia global predeterminado. Antes de realizar esta calibración se debe realizar la calibración intrínseca de cada una de las cámaras. Además se realiza un último paso de minimización de errores. A continuación se explica detalladamente cada una de las etapas del proceso.

3.1. Calibración individual

El primer paso para la calibración de un sistema de múltiples cámaras, es obtener una calibración individual de cada una de ellas. Para ello, se asume que la cámara se rige bajo el modelo del tipo pinhole, el cuál supone que una escena se forma por la proyección de los puntos 3D en el plano de la imagen, a través de una proyección perspectiva [12]. La expresión matemática que gobierna estas transformaciones se observa en la Ec. 1.

$$\begin{pmatrix} u' \\ v' \\ w' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x & 0 & c_x \\ 0 & s_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Donde $(u, v) = (\frac{u'}{w'}, \frac{v'}{w'})$ son las coordenadas en píxeles de la proyección del punto en el plano de la imagen; (x, y, z) son las coordenadas en metros del punto en el espacio; (c_x, c_y) son las coordenadas del centro de la imagen y (s_x, s_y) es la relación entre las distancias focales y el tamaño de los píxeles. La matriz restante puede expresarse como $[R|t]$ y representa la rotación y la traslación de los puntos del espacio, para llevarlos a un sistema de coordenadas en la cámara.

Calibrar una cámara, implica conocer los parámetros mencionados y las transformaciones. Mediante la llamada calibración intrínseca, se obtiene el centro de la imagen y las distancias focales, los cuales forman la matriz de los parámetros intrínsecos. Además, la calibración puede aportar los coeficientes de distorsión del sistema de lentes, que también son propios de cada cámara. Estos valores son independientes de la escena observada, por lo que una vez obtenida, puede ser reutilizada siempre y cuando no se modifique la distancia focal.

Por otro lado, la matriz formada por la rotación y la traslación, es conocida como matriz de parámetros extrínsecos, la cual es obtenida mediante la calibración extrínseca.

3.1.1. Calibración intrínseca

Para la calibración intrínseca se utiliza la implementación de las OpenCV del algoritmo presentado en [13], el cual nos entrega la matriz de calibración de la cámara, los coeficientes de distorsión de la lente y los parámetros extrínsecos, empleando un patrón de calibración del tipo tablero de ajedrez, con sus dimensiones conocidas.

3.1.2. Calibración extrínseca

La calibración extrínseca consiste en estimar las componentes de traslación y rotación, que deben aplicarse a los puntos con coordenadas referidas al sistema del fiducial para obtener sus respectivas coordenadas en un sistema global. Este último puede ser la cámara o incluso algún punto específico del entorno tomado como referencia. Para realizar esta calibración se utiliza la implementación de las OpenCV del algoritmo de calculo de transformación perspectiva desde n puntos (PnP)[12].

3.2. Calibración extrínseca de múltiples cámaras

En una primera instancia se utilizó el mismo patrón que para la calibración intrínseca, pero debido a que el rango de detección fue demasiado pequeño para un patrón relativamente grande (aproximadamente $2m$ para un patrón de tamaño A3), se decidió implementar un nuevo fiducial más simple que el anterior, el cual se observa en la Fig. 1. En dicho fiducial se usan como puntos característicos las 6 esquinas internas y las 4 externas, haciendo un total de 10 puntos. Además como las distancias entre estos puntos son conocidas, la calibración realizada es métrica y no como en otros trabajos en donde es hasta un factor de escala. Este patrón permite ser detectado a mayores distancias que el tablero de ajedrez, aproximadamente $5m$, y además su simplicidad agiliza el proce-



Figura 1: Patrón utilizado para la calibración extrínseca.

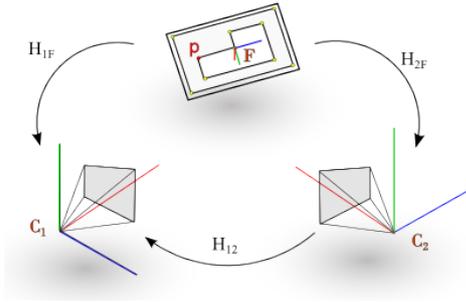


Figura 2: Ejemplo de sistema estéreo.

so de detección, ya que cuenta con menos puntos característicos para detectar. Pero debido a la menor cantidad de puntos, para no aumentar el error de la estimación se necesitan tomar más imágenes del mismo.

El proceso de calibración de un sistema formado por varias cámaras consiste en obtener los parámetros extrínsecos de cada una de ellas, para el sistema específico que integran. Estos parámetros dependerán de la posición de estas y del origen de coordenadas a utilizar. Durante el desarrollo de este trabajo, se tomará como origen de coordenadas el sistema de coordenadas de una de las cámaras.

El proceso de calibración se divide en 4 etapas. A continuación, se detalla cada una de ellas.

3.2.1. Captura de Imágenes

La primera etapa consiste en capturar imágenes del patrón con las distintas cámaras presentes en el sistema y en distintas posiciones. Para que una captura sea válida, el patrón debe ser ubicado de tal manera que sea detectado por más de una cámara a la vez.

Para este procedimiento se desarrolló un script que recibe la cantidad de capturas a realizar y que detecta el número y el nombre de las cámaras conectadas al sistema y automáticamente realiza la cantidad de tomas indicada por el usuario con cada cámara, y también realiza el rectificado de las imágenes usando la matriz calibración intrínseca obtenida en la sección 3.1.1. El script espera a que se presione una tecla para realizar una toma, lo que permite al usuario disponer del tiempo necesario para ubicar el patrón en el lugar deseado.

3.2.2. Calibración extrínseca estéreo

La calibración extrínseca estéreo busca conocer la transformación que existe entre dos cámaras que conforman el sistema, para así poder expresar puntos vistos en el sistema de coordenadas de una de las cámaras en el sistema de la otra.

Para poder comprender mejor este procedimiento, utilizaremos como ejemplo el sistema que se observa en la Fig. 2. Si se conocen las poses de dos cámaras respecto a una misma referencia, es posible estimar la traslación y rotación de cada cámara respecto de la otra. Una homografía relaciona dos imágenes en perspectiva en donde puntos o líneas de un plano de la escena en una imagen están relacionados con puntos o líneas de la otra ima-

gen. En la Fig. 2, estas matrices están representadas como $H_{nm} \in \mathbb{R}^{4 \times 4}$, y representa la transformación necesaria para llevar un punto del sistema de coordenadas m hacia el sistema n . De forma genérica, un punto $P_n \in \mathbb{R}^4$, representa un punto en el sistema de coordenadas n .

Por lo tanto, la calibración estéreo puede analizarse teniendo en cuenta tres sistemas de coordenadas 3D: uno ubicado sobre nuestro patrón de calibración y dos situados sobre las cámaras. De esta manera, las coordenadas de un punto P_F del patrón pueden referirse a los sistemas de las cámaras, utilizando las transformaciones que se observan en (2, 3).

$$P_{C1} = H_{1F}P_F \quad (2)$$

$$P_{C2} = H_{2F}P_F \quad (3)$$

Observando la Fig. 2, vemos que es posible expresar un punto P_F ubicado en el sistema de coordenadas del patrón en el sistema C_1 , por dos caminos distintos; a través de la transformación H_{1F} o usando H_{2F} y H_{12} , como se observa en (4, 5).

$$P_{C1} = H_{1F}P_F \quad (4)$$

$$P_{C1} = H_{12}H_{2F}P_F \quad (5)$$

Igualando las dos expresiones anteriores, podemos despejar la transformación que estamos buscando:

$$H_{1F}P_F = H_{12}H_{2F}P_F \quad (6)$$

$$H_{1F} = H_{12}H_{2F} \quad (7)$$

$$H_{12} = H_{1F}H_{2F}^{-1} \quad (8)$$

Por lo tanto, conociendo la rotación y traslación entre cada cámara y el patrón fijo, usando el método presentado en la sección 3.1.2, es posible calcular la transformación de una cámara respecto a la otra, la cual nos permite expresar un punto visto por ambas cámaras en un mismo sistema de coordenadas.

Este razonamiento puede extenderse a sistemas con mayor cantidad de cámaras, siguiendo el mismo procedimiento. Primero se obtiene la calibración de a pares de cámaras y luego se refieren todos los resultados a un sistema de coordenadas global. La Fig. 3 ejemplifica esta situación.

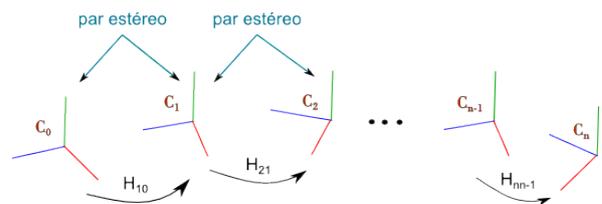


Figura 3: Composición de transformaciones.

3.2.3. Minimización de errores

Debido a una mala detección de los puntos del patrón en las imágenes, la estimación de la matriz de calibración extrínseca puede ser errónea o ruidosa. Los errores son producidos por la detección de puntos que no pertenecen al patrón (outliers) y el ruido es producido por la detección, no tan precisa, de puntos que si pertenecen al patrón, debida a la resolución de la cámara.

Para corregir ambos problemas se realizan varias capturas del patrón entre pares de cámaras, cambiando la posición del fiducial, luego los puntos erróneos para cada captura son eliminados con RANSAC [12]. Una vez eliminados los outliers, las distintas estimaciones realizadas para cada captura son promediadas.

3.2.4. Cambio de referencia

Una vez conocidas las transformaciones entre pares de cámaras, es posible elegir una de ellas como referencia y transformar todos los sistemas de coordenadas de las cámaras restantes al de esta. Para esto se deben ir componiendo las transformaciones correspondientes para llevar cada sistema de coordenadas al de referencia.

Este procedimiento se realiza mediante un árbol en el que cada uno de los nodos representa una de las cámaras, en la raíz de dicho árbol se encuentra la cámara de referencia (C_0) y las aristas entre los nodos representan la transformación entre los sistemas de coordenadas correspondientes.

En la Fig. 4 se muestra un sistema formado por 7 cámaras. Para dicha configuración se construye un árbol como el que se muestra en la Fig. 5, en la que también se puede apreciar como obtener las transformaciones en forma recursiva.

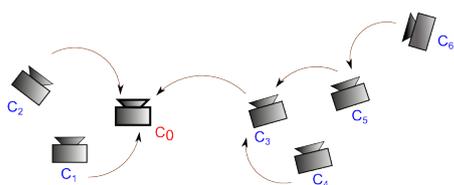


Figura 4: Ejemplo de sistema de múltiples cámaras.

4. EXPERIMENTOS

El método propuesto fue evaluado realizando experimentos sobre una configuración simple de varias cámaras y luego sobre una red de múltiples cámaras desplegadas en un laboratorio. En un futuro esta red será utilizada en un sistema de seguimiento y guiado de vehículos autónomos.

4.1. Pruebas iniciales

La validación inicial fue realizada con cámaras web de una resolución de 640x480 píxeles en configuraciones simples. Se ubicaron las cámaras en posiciones conocidas, todas sobre un mismo plano y a distancias pequeñas, las cuales fueron medidas con un telémetro láser cuya

exactitud es de $\pm 1mm$. Como patrón de calibración se utilizó el propuesto en la Fig. 1, impreso en un tamaño de hoja A3.

En la primer prueba, las cámaras se dispusieron como se observa en la Fig. 6. Se buscó con esta configuración, que haya un gran solapamiento de los campos de visión de las cámaras, de forma tal que el patrón sea observado por todas las cámaras al mismo tiempo. Para esta prueba se tomo como referencia al sistema de coordenadas de la cámara indicada como CAM0. En las tablas 1a y 1b se muestran los resultados de esta calibración.

Tabla 1: Configuración con alto solapamiento.

(a) Resultados de la calibración de la cámara 1

		Medido	Calibración
Traslación	Tx	-55,60cm	-55,56cm
	Ty	0cm	0,68cm
	Tz	22,70cm	23,10cm
Rotación	Rx	0°	0,99°
	Ry	-22°	-23,72°
	Rz	0°	4,48°

(b) Resultados de la calibración de la cámara 2

		Medido	Calibración
Traslación	Tx	55,60cm	57,89cm
	Ty	0cm	1,87cm
	Tz	22,96cm	22,70cm
Rotación	Rx	0°	-5,92°
	Ry	22°	20,04°
	Rz	0°	5,05°

En la segunda prueba, se dispusieron las cámaras en forma alineada y en un mismo plano para disminuir el solapamiento en el área de cobertura, como se muestra en la Fig. 7. Nuevamente se eligió a la cámara 0 (CAM0) como referencia. Los resultados de esta calibración pueden verse en las tablas 2a y 2b.

Como última prueba, se montó el sistema que se observa en la Fig. 8 en donde se utilizaron dos cámaras, separadas una distancia mayor que en los experimentos anteriores. Los resultados obtenidos de esta calibración se presentan en la tabla 3.

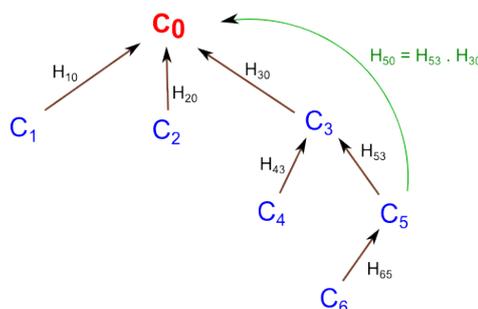


Figura 5: Organización tipo árbol de las transformaciones de sistemas de coordenadas.

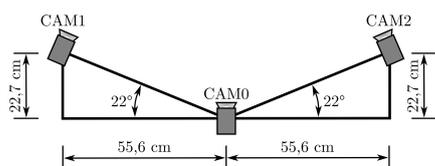


Figura 6: Disposición de cámaras para la prueba con alto solapamiento.

Tabla 2: Configuración con bajo solapamiento.

(a) Resultados de la calibración de la cámara 1

		Medido	Calibración
Traslación	Tx	40,2cm	43,37cm
	Ty	0cm	3,32cm
	Tz	0cm	11,68cm
Rotación	Rx	0°	3,58°
	Ry	0°	6,37°
	Rz	0°	-0,64°

(b) Resultados de la calibración de la cámara 2

		Medido	Calibración
Traslación	Tx	-40,2cm	-41,08cm
	Ty	0cm	1,64cm
	Tz	0cm	-1,38cm
Rotación	Rx	0°	2,4°
	Ry	0°	2,36°
	Rz	0°	-0,61°

El producto de las pruebas realizadas demuestran el correcto funcionamiento del método desarrollado.

4.2. Calibración de una red de cámaras IP

Después de validar el funcionamiento del método con experimentos controlados, se decidió montar una red de 3 cámaras del tipo IP en el laboratorio de experimentación de robótica del CIII. Las cámaras utilizadas son las TL-SC3230N de la firma TP-LINK, que cuentan con una resolución máxima de 1,3 Mega-píxel (1280x1024), un ángulo de visión horizontal de 47° y conectividad Wi-Fi. Las dimensiones del laboratorio son de aproximadamente 8x4m, de tal manera que para cubrir la mayor área posible se ubicaron las cámaras a una distancia de 4m entre ellas, colocadas a una altura de 3,3m y apuntando hacia el suelo. Se planea que esta red de cámaras sea utilizada en la ejecución y validación de distintos algoritmos de robótica desarrollados en dicho centro de investigación, como sistemas de seguimiento distribuido, guiado de vehículos autónomos y generación de trayectorias para la validación de algoritmos de estimación de pose.

En la Fig. 9 se muestra el área de cobertura de cada

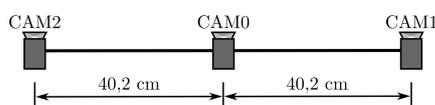


Figura 7: Disposición de cámaras para la prueba con bajo solapamiento.

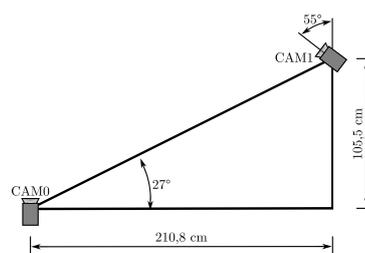


Figura 8: Disposición de cámaras para la prueba con gran traslación.

Tabla 3: Resultados de la calibración. Configuración con mayor traslación entre cámaras.

		Medido	Calibración
Traslación	Tx	210,8cm	213,84cm
	Ty	0cm	-3,10cm
	Tz	105,5cm	105,79cm
Rotación	Rx	0°	-6,44°
	Ry	55°	49,24°
	Rz	0°	6,26°

cámara proyectada al plano del piso del salón de experimentación. Recordemos que, si bien el sistema es más

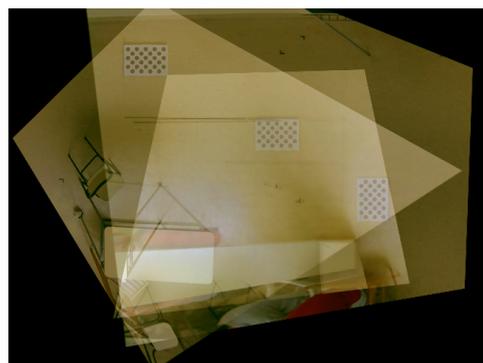


Figura 9: Superposición de las áreas de cobertura de la red de cámaras IP.

complicado y de mayor tamaño, se utilizaron cámaras de mayor calidad y resolución. Además, como se trata de grandes distancias entre los elementos del sistema, se hizo necesario contar con comunicación inalámbrica entre las cámaras y el sistema de control. Es por estos motivos se utilizó el modelo de TP-LINK mencionado.

Los resultados obtenidos de la aplicación del algoritmo de calibración se pueden apreciar en las tablas 4a, 4b y 4c. El origen de coordenadas del sistema se ubicó en una de las esquinas de la habitación. En este experimento solo se muestra la rotación como producto de la calibración, debido a que la medición de la rotación es muy complicada de realizar.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

En este trabajo se presentó el diseño e implementación de un algoritmo de calibración extrínseca de sistemas de múltiples cámaras. Se explicó la teoría de funcionamiento del mismo y se realizaron experimentos en condiciones

Tabla 4: Red de cámaras IP.

(a) Resultados de la calibración de la cámara 1

		Medido	Calibración
Traslación	Tx	3, 33cm	3, 29cm
	Ty	10, 21cm	10, 22cm
	Tz	334, 03cm	334, 43cm
Rotación	Rx	—	-44, 54°
	Ry	—	4, 91°
	Rz	—	-135, 02°

(b) Resultados de la calibración de la cámara 2

		Medido	Calibración
Traslación	Tx	429, 51cm	445, 19cm
	Ty	7, 82cm	10, 26cm
	Tz	332, 51cm	327, 98cm
Rotación	Rx	—	-54, 30°
	Ry	—	0, 30°
	Rz	—	177, 31°

(c) Resultados de la calibración de la cámara 3

		Medido	Calibración
Traslación	Tx	834, 19cm	854, 20cm
	Ty	298, 77cm	300, 79cm
	Tz	338, 79cm	343, 99cm
Rotación	Rx	—	-43, 18°
	Ry	—	-3, 45°
	Rz	—	83, 27°

controladas y en una situación real para la verificación de su correcto funcionamiento. Además se propuso un nuevo patrón de calibración extrínseca con varias ventajas con respecto a los patrones tradicionales. El código para poder realizar la calibración extrínseca de sistemas de múltiples cámaras se encuentra disponible en [8], así como también los datasets, la documentación y ejemplos de uso de este proyecto.

Como trabajo a futuro se planea extender la red de cámaras presentada en los experimentos, para ser empleada en tareas de seguimiento y guiado de vehículos móviles. Para lo cual resulta indispensable la calibración extrínseca de la red.

REFERENCIAS

- [1] J. Borenstein, H. R. Everett, L. Feng, and D. Wehe, "Mobile robot positioning-sensors and techniques," DTIC Document, Tech. Rep., 1997.
- [2] B. Benfold and I. Reid, "Stable multi-target tracking in real-time surveillance video," in *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on*. IEEE, 2011, pp. 3457–3464.
- [3] T. Krajník, M. Nitsche, J. Faigl, P. Vaněk, M. Saska, L. Přeučil, T. Duckett, and M. Mejail, "A practical multirobot localization system," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 76, no. 3-4, pp. 539–562, 2014.
- [4] M. Buchheit, A. Allen, T. K. Poon, M. Modonutti, W. Gregson, and V. Di Salvo, "Integrating different tracking systems in football: multiple camera semi-automatic system, local position measurement and gps technologies," *Journal of sports sciences*, vol. 32, no. 20, pp. 1844–1857, 2014.
- [5] A. Ibisch, S. Houben, M. Michael, R. Kesten, and F. Schuller, "Arbitrary object localization and tracking via multiple-camera surveillance system embedded in a parking garage," in *IS&T/SPIE Electronic Imaging*. International Society for Optics and Photonics, 2015, pp. 94 070G–94 070G.
- [6] D. Gonzalez Dondo, L. R. Canali, and J. H. Toloza, "Aplicación de un filtro de partículas distribuido para el seguimiento de objetivos en el espacio mediante múltiples observaciones angulares," in *Actas de las VIII Jornadas Argentinas de Robótica 2014*.
- [7] M. Kulich, J. Chudoba, K. Kosnar, T. Krajník, J. Faigl, and L. Preucil, "Syrotek—distance teaching of mobile robotics," *Education, IEEE Transactions on*, vol. 56, no. 1, pp. 18–23, 2013.
- [8] D. Gonzalez Dondo, F. Trasobares, L. Yoaquino, J. Padilla, and J. Redolfi. (2015) Calibración multicámara. [Online]. Available: <http://ciii.frc.utn.edu.ar/Vision/MultiCameraCalibration>
- [9] F. Kahlesz, C. Lilge, and R. Klein, "Easy-to-use calibration of multiple-camera setups," *CCMVS: Camera Calibration Methods for Computer Vision Systems*, 2007.
- [10] T. Svoboda, D. Martinec, and T. Pajdla, "A convenient multicamera self-calibration for virtual environments," *PRESENCE: teleoperators and virtual environments*, vol. 14, no. 4, pp. 407–422, 2005.
- [11] B. Li, L. Heng, K. Koser, and M. Pollefeys, "A multiple-camera system calibration toolbox using a feature descriptor-based calibration pattern," in *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 1301–1307.
- [12] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press, 2003.
- [13] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, vol. 22, no. 11, pp. 1330–1334, 2000.