Calibración de Sistemas Multi-Cámara

Universidad Tecnológica Nacional - FRC

Trasobares, Fernando
trasobaresfernando@gmail.com

18 de noviembre de 2016

Índice

1. Introducción **4**

2. Planteamiento del problema **4**

3. Objetivos **5**

4. Desarrollo **6**
4.1. Calibración intrínseca 6
4.2. Elección del patrón 7
4.3. Adquisición de imágenes 8
4.4. Estimación de pose y orientación cámara-patrón 9
4.5. Formación de pares estéreo 10
4.6. Referencia global 11
4.7. Minimización de errores 13

5. Resultados **14**
5.1. Ensayo 1 14
5.2. Ensayo 2 15
5.3. Ensayo 3 16
5.4. Prueba Final 17

6. Conclusiones **18**

1. Introducción

En aplicaciones de robots móviles, generalmente es necesario conocer la ubicación del robot en el entorno por el cual se desplaza. Cuando se trabaja en ambientes exteriores, la solución más común se basa en el uso de GPS, sin embargo, en ambientes interiores esto resulta inviable. En estos casos, la odometría por medio de encoders para obtener la ubicación absoluta es también problemática debido al error acumulado por los mismos. Así, el empleo de cámaras que permitan el seguimiento o tracking del objeto constituye una de las soluciones más utilizadas en este tipo de aplicaciones.

Un sistema de múltiples cámaras es un conjunto de cámaras desplegadas en un área determinada. Su uso 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 más comunes podemos nombrar sistemas de seguridad, vigilancia, control de acceso, análisis de situaciones deportivas, monitorización del tráfico, navegación autónoma, entre otras. En particular, en el ámbito académico y de investigación, son usados en sistemas de seguimiento y guía de vehículos autónomos y robots.

La principal desventaja de usar una cámara para hacer seguimiento, es que tiene 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. De esta manera, en estos casos, la mejor solución consiste en el uso de redes de cámaras conectadas de forma tal que abarquen el mayor área posible.

Para realizar el seguimiento de un objetivo con un sistema de múltiples cámaras, en primer lugar, es necesario determinar la posición y orientación de cada cámara con respecto a un marco de referencia global. Esto se conoce como la calibración extrínseca de cada una de las cámaras. En este trabajo se describe el desarrollo y la implementación de un método de calibración extrínseca para sistemas de múltiples cámaras, con la menor intervención posible por parte del usuario.

El trabajo se organiza de la siguiente manera. Primero, se presentará una breve descripción del problema que presenta la calibración, en nuestro caso particular. Luego se exponen los objetivos que deberá cumplir el sistema de calibración a implementar. Después de este punto, comenzará la descripción analítica de cada uno de los pasos usados durante el proceso de calibración. Por último, se demuestra la validez del método propuesto mediante algunos ensayos simples, para finalmente, pasar a la calibración real de nuestro sistema de cámaras en cuestión.

2. Planteamiento del problema

El Centro de Investigación en Informática para la Ingeniería (CIII) es uno de los centros de investigación de la UTN FRC y apunta principalmente a desarrollos en robótica móvil y robots aéreos, centrando su atención en disciplinas como navegación autónoma, localización y mapeo, sistemas de percepción, fundamentalmente utilizando algoritmos de visión por computadora. Actualmente, uno de los proyectos consiste en implementar un sistema de seguimiento de objetos mediante un conjunto de cámaras, que permita conocer con cierta precisión la posición de los robots móviles en ambientes interiores. El sistema multi-cámara está formado por tres cámaras IP dispuestas a lo largo de un salón, tal como se observa en la Fig.1. En la Fig.2, se presenta la cámara utilizada.

Como ya se mencionó, para hacer uso del sistema de cámaras es preciso conocer la posición y orientación de cada una de ellas respecto de alguna referencia. Aquí, el principal problema de la calibración extrínseca, es la disposición de las cámaras. Estas se encuentran a más de tres metros de altura, lo cual dificulta la medición de los parámetros de forma manual, por parte del usuario. Por otro lado, los algoritmos de visión para calibración extrínseca, generalmente requieren un solapamiento del área de cobertura de todas las cámaras.

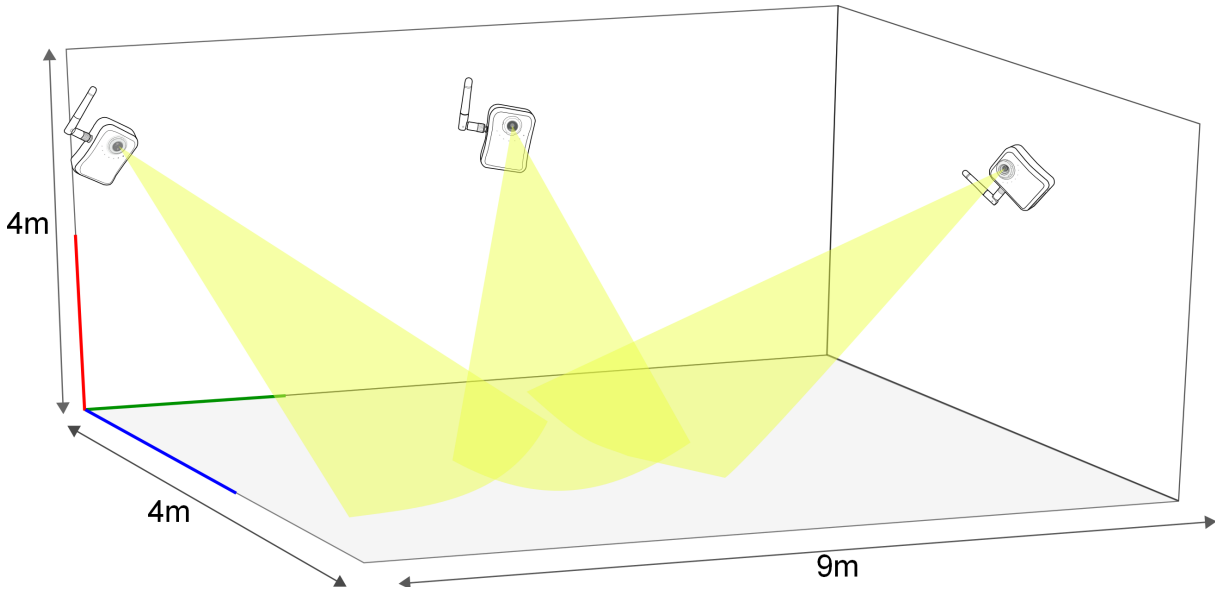


Figura 1: Distribución de las cámaras en el salón

Figura 2: Cámara TP-LINK TL-SC3230N

3. Objetivos

Dados los inconvenientes que presenta la calibración extrínseca del sistema multi-cámara, se propuso desarrollar un software basado en visión por computadora, que permita estimar la posición y orientación de las cámaras, de forma sistemática. Los objetivos que debe cumplir son:

- Debe funcionar con la menor intervención por parte del usuario.
- No debe ser necesario que el área de cobertura de todas las cámaras se solapen entre sí.
- Debe tener algún mecanismo para identificar información falsa, para reducir el error de la estimación durante el procesamiento de las imágenes.

El lenguaje utilizado para desarrollar el software es Python. Además el trabajo se basa en OpenCV, una librería de procesamiento de imágenes que implementa una amplia gama de algoritmos de visión por computadora.

4. Desarrollo

El método propuesto está 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. A continuación se explicarán cada uno de los pasos.

4.1. Calibración intrínseca

A la hora de trabajar con cámaras, si se pretende hacer mediciones de posición y orientación, son necesarias dos tipos de calibración. Por un lado, la calibración extrínseca ya mencionada, que se relaciona con la traslación y rotación de la cámara respecto a un sistema de coordenadas global. Por otro lado, la calibración intrínseca, que depende exclusivamente de características propias de la cámara, independientemente de su ubicación dentro del sistema de coordenadas. En otras palabras, los parámetros que definen la calibración intrínseca dependen solo de la lente y del sensor de imagen utilizados, por ejemplo, las coordenadas del centro óptico, la distancia focal y la resolución de la imagen.

La matriz de calibración intrínseca tiene la forma dada por (1), considerando que los ejes físicos del sensor de imagen son perfectamente perpendiculares.

$$K = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & c_x \\ 0 & \beta & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

Dado que la calibración intrínseca no depende de la posición de la cámara, antes de instalar el sistema en el salón, se estimaron los parámetros intrínsecos de todas las cámaras. Para ello se utilizó un script que provee OpenCV para tal fin, que utiliza un patrón o fiducial en forma de tablero de ajedrez (chessboard) de dimensiones conocidas. De esta manera, los resultados obtenidos serán válidos mientras no se modifique por ejemplo el foco de la lente.

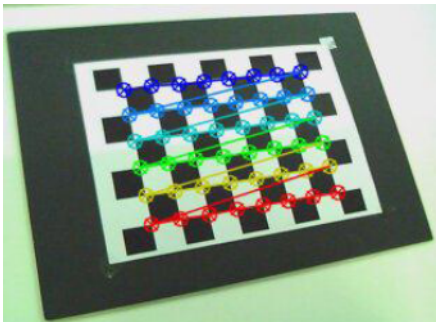
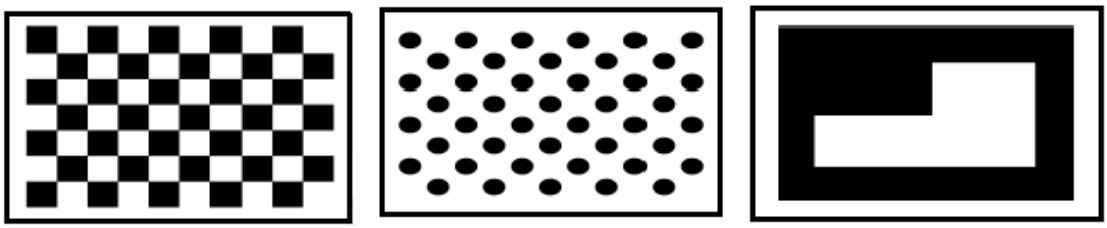


Figura 3: Ejemplo de calibración intrínseca con el script que provee OpenCV

4.2. Elección del patrón

Para la calibración intrínseca se hicieron pruebas con un fiducial del tipo chessboard. En una primera aproximación en la calibración extrínseca, se empleó el mismo tipo de patrón. Sin embargo, como la detección del patrón era relativamente lenta, se decidió implementar un nuevo fiducial más grande y simple que el anterior. La velocidad de detección era importante ya que se pensaba hacer pruebas con el patrón dentro de un algoritmo de seguimiento. En la Fig.4, se muestran distintos tipos de fiducial asimétricos.



(a) Patrón *chessboard* (b) Patrón de círculos (c) Patrón implementado

Figura 4: Ejemplos de patrones asimétricos

El nuevo patrón se caracteriza por su simplicidad, posee 10 puntos fácilmente identificables y es asimétrico, lo cual permite estimar su rotación. Evidentemente tuvo que redactarse un nuevo detector, el cual se resume a continuación:

Datos: Imagen capturada
Resultado: Coordenadas x,y de los puntos característicos del patrón dentro de la imagen
Pasar imagen a escala de grises;
Binarizar con un umbral adaptativo;
Eliminar partículas con filtro;
Buscar contornos;
para *cada contorno* **hacer**
  Calcular el área;
  Aproximar con polígono;
  si *el polígono es un cuadrilátero* **entonces**
    Calcular la matriz de proyección perspectiva;
    Aplicar la transformación inversa a la imagen original;
    mientras *No se haya detectado y rotaciones* < 4 **hacer**
      Aplicar XOR entre el fiducial y la imagen binaria;
      Sumar los pixeles de la imagen resultado;
      si *la suma supera el umbral de detección* **entonces**
        El fiducial fue detectado;
        Se buscan los puntos internos;
      fin
      en otro caso
        Rotar la imagen 90º;
        $rotaciones \leftarrow rotaciones + 1$;
      fin
    fin
  fin
fin

Algoritmo 1: Algoritmo de detección del patrón L

En la Fig.5 se muestran los resultados de la detección.

Figura 5: Resultados de la detección del patrón L

4.3. Adquisición de imágenes

Como primer medida para poder realizar una calibración multi-cámara, es necesario recolectar una serie de tomas del patrón con las distintas cámaras. La idea es estimar la posición relativa de cada cámara respecto del patrón, para así calcular la posición absoluta entre cámaras. Dado que estas permanecen fijas en todo momento, los parámetros extrínsecos de la calibración no dependen de la posición relativa del patrón. Si bien con que se tenga una imagen de cada una, en la cual se pueda detectar el patrón al mismo tiempo es suficiente para estimar la posición y orientación absoluta, resulta sumamente útil realizar múltiples capturas colocando el patrón en diferentes posiciones e inclinaciones, para mejorar la estimación.

Para realizar la adquisición de imágenes se desarrolló un código que detecta automáticamente el número y el nombre de las cámaras conectadas al equipo, para realizar la cantidad de tomas indicada por el usuario con cada cámara. En un primer ensayo, se dispuso tres webcams como se observa en la Fig.6.

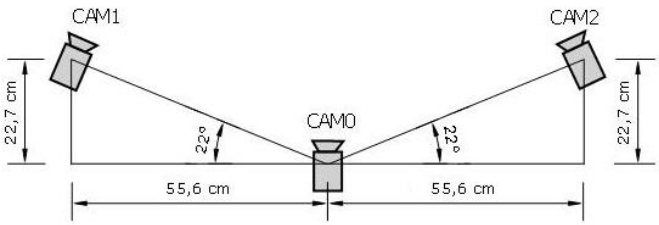


Figura 6: Disposición de las cámaras en el primer ensayo

Luego, se tomó una serie de capturas del patrón en diferentes posiciones frente a las cámaras. En la Fig.7, se ven las imágenes obtenidas.

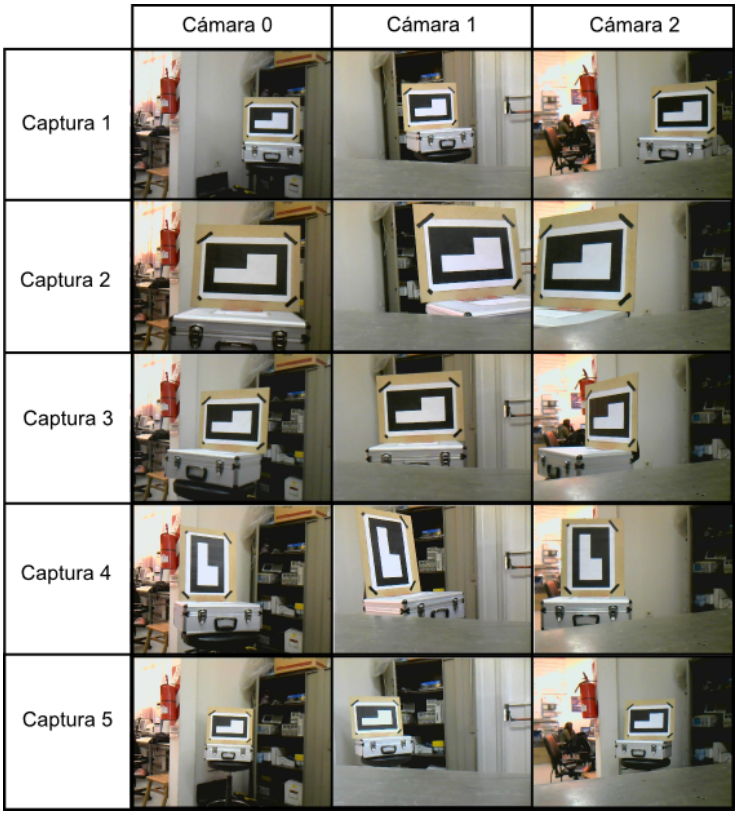


Figura 7: Difentes capturas del patrón desde tres cámaras distintas

4.4. Estimación de pose y orientación cámara-patrón

Una vez capturadas las imágenes comienza el procesamiento de las mismas. En primer lugar se verifica si el fiducial está presente, de no estarlo, la imagen queda descartada. En caso contrario, se almacenan la ubicación de sus diez esquinas y los números de cámara y captura correspondientes. Como se conocen las dimensiones del patrón y las características intrínsecas de la cámara junto con los coeficientes de distorsión de la lente, es posible estimar la posición y rotación de la cámara respecto a un sistema de coordenadas ubicado sobre el patrón. La Fig.8, permite aclarar este concepto.

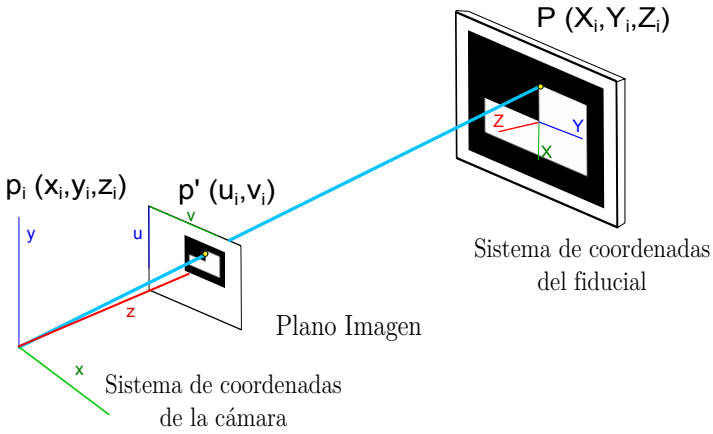


Figura 8: Esquema de proyección del patrón sobre el plano de la imagen

Solo para facilitar el análisis se considerará para un modelo lineal, sin distorsión en la lente. Todo punto P que se encuentre dentro del ángulo de apertura de la cámara, posee su correspondencia p' en el

plano de la imagen. Esta transformación viene dada por la relación:

$$p_i = K \cdot (R \cdot P_i + T)$$

Donde K es la matriz de parámetros intrínsecos, T es el vector de traslación y R la matriz de rotación que posiciona la cámara dentro del sistema de coordenadas relativo al centro del patrón observado. Puede simplificarse aún más el análisis usando coordenadas homogéneas, tal como se observa a continuación.

$$p_i = K \cdot H \cdot P_i$$

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 & c_x \\ 0 & \beta & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{bmatrix}$$

Donde pueden identificarse a K y H como las matrices de parámetros intrínsecos y extrínsecos respectivamente.

Como en principio se conocen la matriz K y las coordenadas tanto de los puntos proyectados en la imagen como así también su ubicación espacial respecto del patrón, puede formarse un sistema de ecuaciones en el cual las incógnitas son las componentes de R y T. Generalmente, se utilizan más puntos de los necesarios, para poder sobredimensionar el sistema de ecuaciones y así minimizar el error, ya sea utilizando técnicas de mínimos cuadrados o eligiendo aquellos puntos que mejoren la estimación, por ejemplo mediante RANSAC.

El estudio de cómo estimar la posición y orientación de una cámara conociendo las dimensiones de un patrón identificable en la imagen, suele llamarse PnP (*Perspective n Points*). OpenCV resuelve fácilmente el problema de PnP, mediante la función cv2.solvePnP().

```
cv2.solvePnP(objectPoints, imagePoints, cameraMatrix, distCoeffs) -> rvec, tvec
```

Donde:

- objectPoints: corresponde a las coordenadas 3D de un conjunto de puntos, referidas al sistema del fiducial.
- imagePoints: representa las coordenadas 2D de los puntos dentro de la imagen.
- cameraMatrix, distCoeffs: son los parámetros obtenidos de la calibración intrínseca.

Como retorno, la función devuelve el vector de traslación en las mismas unidas que las usadas en la calibración intrínseca y un vector de rotación cuya norma indica el ángulo que debe rotarse en radianes y cuya dirección indica el eje alrededor del cual debe girarse.

4.5. Formación de pares estéreo

El siguiente paso es obtener una calibración extrínseca entre pares de cámaras. La idea es la siguiente: básicamente si se conoce la posición y la pose de dos cámaras respecto a una misma referencia, es posible estimar la traslación y rotación de una de las cámaras respecto de la otra, mediante la matriz homogénea correcta. Suponiendo un sistema formado por un par de cámaras, que detectan un fiducial en un mismo instante, tal como se observa en la Fig.9.

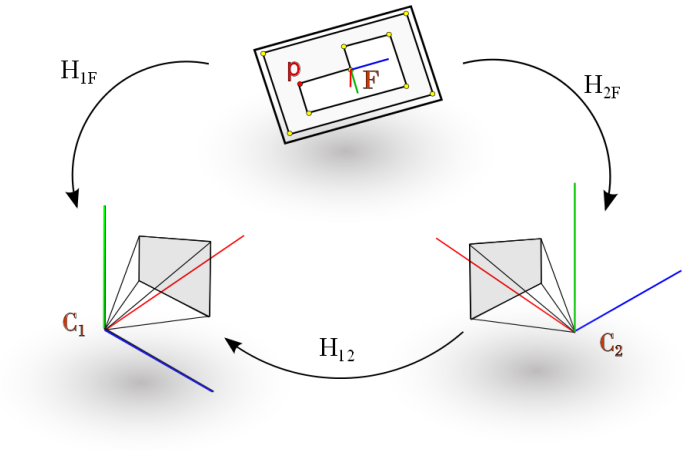


Figura 9: Transformaciones en un sistema de cámaras estéreo

De acuerdo a la imagen anterior, la calibración estéreo puede analizarse teniendo en cuenta tres sistemas de coordenadas 3D: uno ubicado sobre nuestro patrón de calibración y dos sistemas más situados sobre los focos de las cámaras en cuestión. De esta manera, las coordenadas de un punto P del patrón pueden referirse a los sistemas de las cámaras, utilizando las transformaciones que se analizaron en el apartado anterior.

$$\begin{aligned} P_{C1} &= H_{1F} \cdot P_F \\ P_{C2} &= H_{2F} \cdot P_F \end{aligned}$$

Viendo la imagen, rápidamente se comprende que es posible llevar un punto P del patrón al sistema C_1, por dos caminos distintos: a través de la transformación H_{1F} o usando H_{2F} y H_{12}. Es decir:

$$\begin{aligned} P_{C1} &= H_{1F} \cdot P_F \\ P_{C1} &= H_{12} \cdot H_{2F} \cdot P_F \end{aligned}$$

Igualando las dos expresiones anteriores, se puede despejar la transformación buscada:

$$\begin{aligned} H_{1F} \cdot P_F &= H_{12} \cdot H_{2F} \cdot P_F \\ H_{1F} &= H_{12} \cdot H_{2F} \\ H_{12} &= H_{1F} \cdot H_{2F}^{-1} \end{aligned}$$

La matriz obtenida esta formada por la matriz de rotación y el vector de traslación del sistema C_2 respecto de C_1. En otras palabras, la expresión permite calcular la rotación y traslación de la cámara 2 respecto de la cámara 1.

4.6. Referencia global

Cuando las cámaras están próximas entre sí, resulta simple referirlas a un sistema de coordenadas global dado que es posible calibrarlas en forma estéreo, vinculando cada una directamente con la referencia. Sin embargo, existen configuraciones en que no todas las cámaras tienen una correspondencia directa con la cámara de referencia, pero si con otra más cercana. En este caso se deben obtener los parámetros extrínsecos respecto a otra cámara y luego hacer la transformación correspondiente para llevar los parámetros al sistema global. En otras palabras, se deberá ir "saltando" entre los distintos sistemas de coordenadas que forman las cámaras hasta llegar a la referencia global, tal como se observa en la Fig.10.

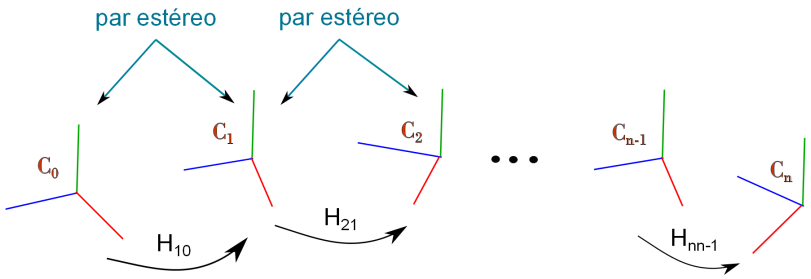


Figura 10: Esquema de calibración mediante pares estéreo

Este procedimiento se implementó mediante un árbol en que cada uno de los nodos representa una de las cámaras. En la raíz del árbol, se encuentra la cámara de referencia (cam_0). La idea es que de cada uno de los nodos deriven las cámaras que tengan una correspondencia directa con el nodo en cuestión, en donde el peso de cada una de las ramas es igual a la matriz homogénea correspondiente. Esta interpretación gráfica permite que el cambio de coordenadas sea más simple y de manera recursiva. Esto se vuelve más fácil todavía si se trabaja con transformaciones homográficas, donde la transformación resultante de cualquier cámara contra la referencia, es el producto de todas las matrices correspondientes a las ramas por las cuales debe circularse para llegar al nodo de la cámara en cuestión.

Por ejemplo, suponiendo un sistema formado por siete cámaras, dispuestas como se muestra en el esquema de la Fig.11.

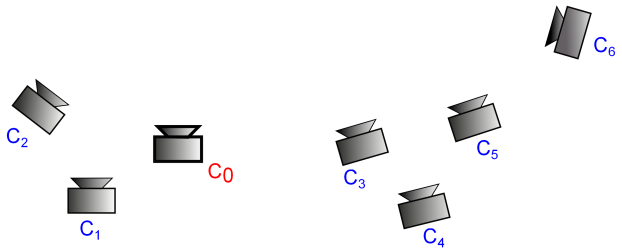


Figura 11: Ejemplo de sistema formado por 7 cámaras

De acuerdo a la posición y orientación de las cámaras, el método de calibración organizará los sistemas de coordenadas como se ve en la Fig.12.

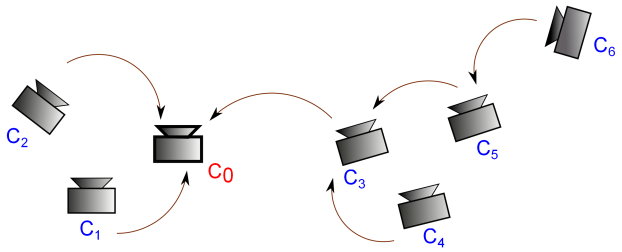


Figura 12: Asignación de referencia para cada cámara

En la Fig.13, se ve el árbol que formará el script en base a la distribución de las cámaras.

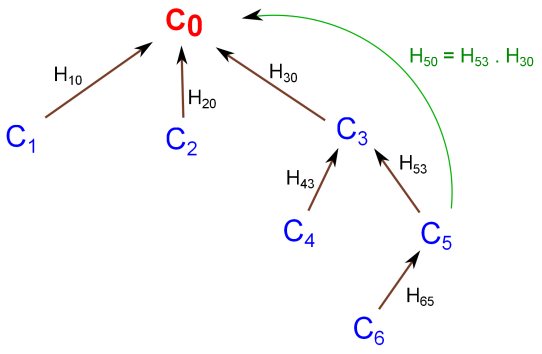


Figura 13: Árbol generado por el script de calibración

De donde se ve claramente que los parámetros extrínsecos de cada cámara pueden obtenerse de forma recursiva, multiplicando sus parámetros por los del nodo superior.

4.7. Minimización de errores

Dado que lo único que cambia entre cada una de las capturas es la posición del fiducial, (ya que la cámaras permanecen fijas), es de esperar que la calibración extrínseca entre cámaras sea la misma para las diferentes capturas. Sin embargo, siempre existe un error en la estimación principalmente debido a la falta de precisión en la detección de los puntos del fiducial. Una forma de estimar el error acumulado y reducirlo, es analizar la distribución de los resultados, tomando muchas capturas cambiando la posición del fiducial. Luego cada una de estas imágenes genera una matriz calibración individual y después una matriz de calibración estéreo cuando se vinculan dos cámaras.

Esta matriz de calibración estéreo puede interpretarse como una transformación homogénea con su matriz de 4×4 ó como un vector de traslación y uno rotación. En nuestro caso, durante la minimización de errores se trabajó con los vectores, es decir, con tres componentes de traslación (cada una referida a uno de los ejes del sistema de coordenadas global) y 3 componentes de rotación (que representan la rotación mediante ángulos de Euler). En otras palabras cada par de imágenes (tomadas desde dos cámaras en un mismo instante) genera un vector de 6 elementos que representa la traslación y rotación de las cámaras en cuestión. Al aumentar la cantidad de capturas, puede analizarse la distribución de estos elementos, de modo tal de mejorar la estimación para cada par estéreo.

Suponiendo, por ejemplo, la traslación en el eje x (T_x), para un mismo par de cámaras en diferentes instantes de tiempo. En el caso ideal el valor de T_x estimado debería ser el mismo para todas las capturas, pero esto no se cumple en la práctica. Si este conjunto de valores posee un valor erróneo o outlier en Tx debido a una mala detección del patrón en alguna de las imágenes, aumentará significativamente la dispersión de los valores. Un valor es considerado outlier, si al obtener el subconjunto formado por los todos los valores menos el erróneo se consigue reducir la dispersión significativamente. Así, básicamente el procedimiento que se implementó consiste en la detección de outlier, el cual forma subconjuntos de valores quedándose con aquel que reduce al mínimo la varianza. El procedimiento se repite luego con las demás componentes. Por último se toma la media de los posibles inliers. De esta manera, se reduce todos los resultados a solo seis valores que representan la traslación y rotación entre las dos cámaras, descartando aquellas imágenes que aumentan la dispersión de los parámetros extrínsecos.

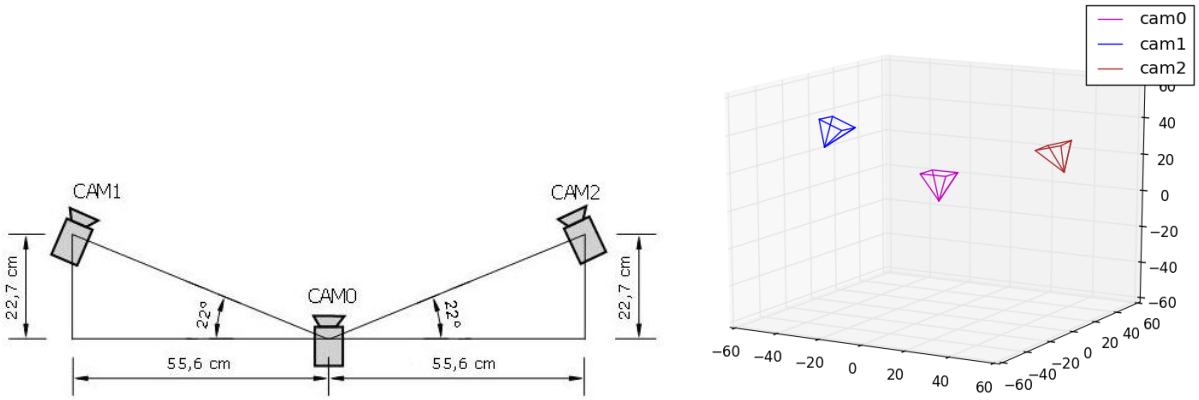
Además se implementó otro método para reducir el error en la estimación, que está relacionado con la forma de trasladar las coordenadas de cada cámara a la referencia global. Se recuerda que esto se hacía mediante la formación de un árbol, donde cada nodo era una cámara y cada rama representaba la transformación correspondiente. Una forma de reducir el error consiste en asegurarse que el árbol formado sea de expansión mínima. Esto último implica que cada cámara se vincule únicamente con aquellas que se encuentran más cerca de ella. Para lograrlo se realiza una primera aproximación de la posición de las cámaras refiriendo formando los respectivos pares estéreo al azar, luego, en base a los resultados se forman los pares que minimizan las distancias entre cámaras.

5. Resultados

A continuación se analizará una serie de ensayos que se hicieron con sus respectivos resultados:

5.1. Ensayo 1

- Cantidad de cámaras: 3
- Cantidad de capturas: 5



(a) Configuración del ensayo

(b) Resultados de la calibración

Figura 14: Prueba 1

Cuadro 1: Cámara 1

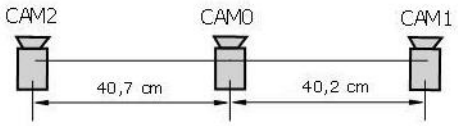
		Valor Real	Valor Estimado
Traslación	T_x	$-55{,}43cm$	$-55{,}60cm$
	T_y	$0cm$	$0{,}68cm$
	T_z	$22{,}96cm$	$23{,}10cm$
Rotación	R_x	0°	$0{,}99^o$
	R_y	$-22{,}5^o$	$-23{,}72^o$
	R_z	0°	$4{,}48^o$

Cuadro 2: Cámara 2

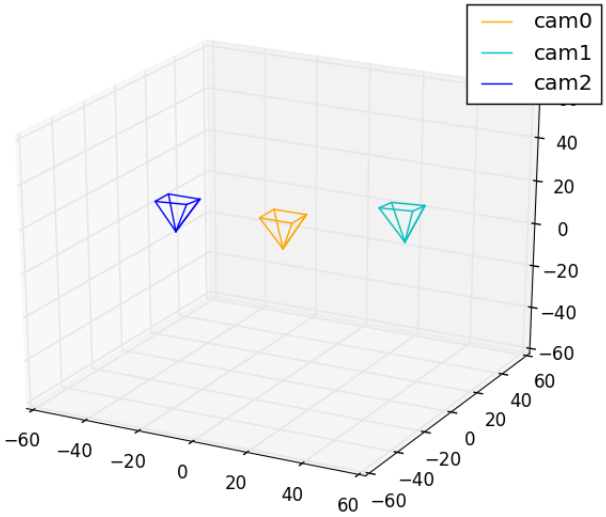
		Valor Real	Valor Estimado
Traslación	T_x	$55{,}43cm$	$57{,}89cm$
	T_y	$0cm$	$1{,}87cm$
	T_z	$22{,}96cm$	$22{,}09cm$
Rotación	R_x	0°	$-5{,}92^o$
	R_y	$22{,}5^o$	$20{,}04^o$
	R_z	0°	$5{,}05^o$

5.2. Ensayo 2

- Cantidad de cámaras: 3
- Cantidad de capturas: 10



(a) Configuración del ensayo



(b) Resultados de la calibración

Figura 15: Prueba 2

Cuadro 3: Cámara 1

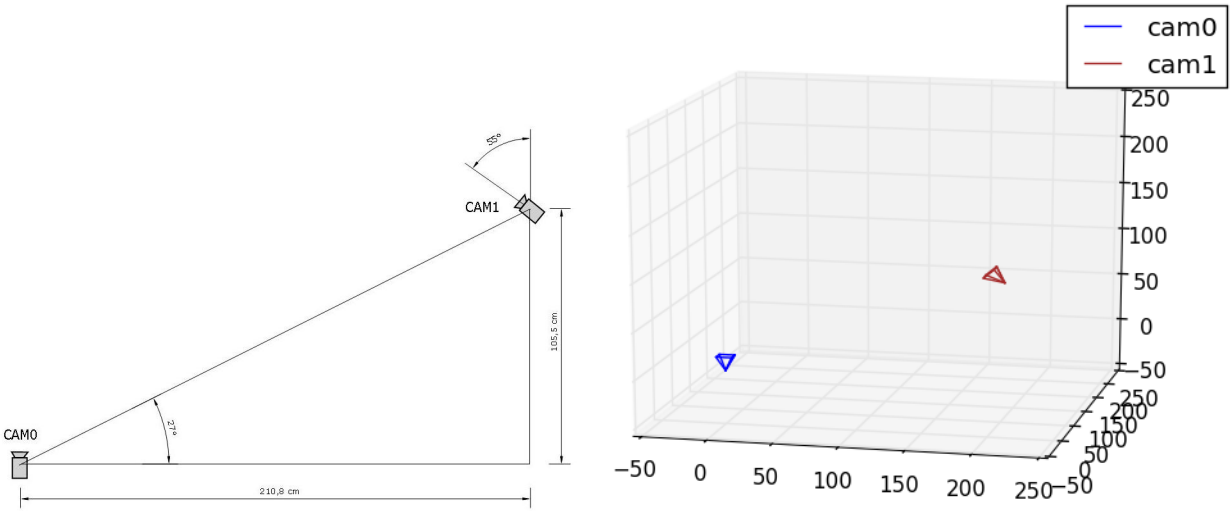
		Valor Real	**Valor Estimado**
Traslación	T_x	$40{,}20cm$	$43{,}37cm$
	T_y	$0cm$	$3{,}32cm$
	T_z	$0cm$	$11{,}68cm$
Rotación	R_x	0°	$3{,}58^o$
	R_y	0°	$6{,}37^o$
	R_z	0°	$-0{,}64^o$

Cuadro 4: Cámara 2

		Valor Real	**Valor Estimado**
Traslación	T_x	$-40{,}70cm$	$-41{,}08cm$
	T_y	$0cm$	$1{,}64cm$
	T_z	$0cm$	$1{,}38cm$
Rotación	R_x	0°	$2{,}4^o$
	R_y	0°	$2{,}36^o$
	R_z	0°	$-0{,}61^o$

5.3. Ensayo 3

- Cantidad de cámaras: 2
- Cantidad de capturas: 16



(a) Configuración del ensayo

(b) Resultados de la calibración

Figura 16: Prueba 3

Cuadro 5: Cámara 2

		Valor Real	**Valor Estimado**
Traslación	T_x	211,09cm	213,84cm
	T_y	0cm	−3,10cm
	T_z	105,54cm	105,79cm
Rotación	R_x	0º	−6,44º
	R_y	53,13º	49,24º
	R_z	0º	6,26º

En la Fig.17, se muestra el funcionamiento del detector de outliers utilizado para reducir el error en la estimación. En este caso, se analiza el conjunto de datos del T_x calculado entre los 16 pares de imágenes. El método reduce la varianza y acerca el resultado al valor real medido.

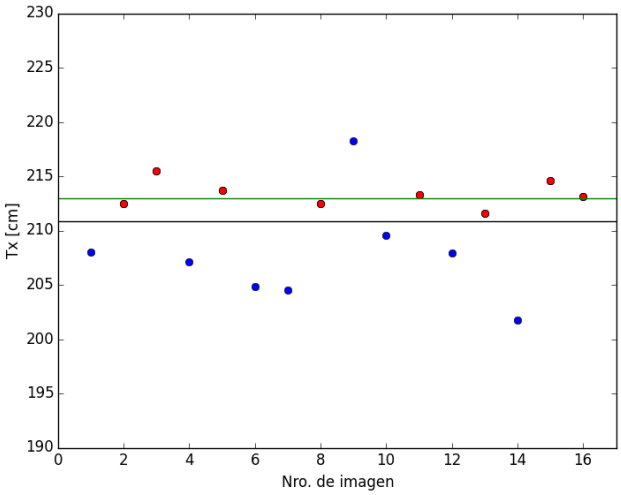


Figura 17: Detección de outliers dentro del ensayo 3

5.4. Prueba Final

Por último, luego de verificar el funcionamiento del script de calibración bajo distintas configuraciones sencillas, se pasó a probarlo en el sistema multi-cámara del salón. En la Fig.18, se ve el resultado obtenido.

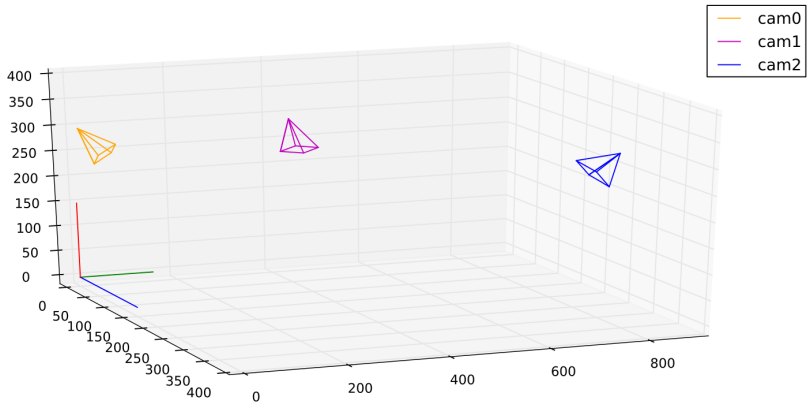


Figura 18: Calibración extrínseca de las cámaras del salón

6. Conclusiones

En primer lugar, puede decirse que se logró redactar un script de calibración extrínseca para sistemas de múltiples cámaras, que cumple con los objetivos planteados. Con este algoritmo, no es necesario que el usuario efectúe ningún tipo de medición de forma manual, simplemente debe proporcionar las matrices de calibración intrínsecas de las cámaras en cuestión y una serie de imágenes en las que aparezca un patrón de dimensiones conocidas. Sólo habrá que hacer mediciones en el caso que se necesite referir el sistema a un punto del entorno, en lugar de a una de las cámaras. En este caso, deberá proporcionarse la matriz homogénea que relaciona a la *Cam0* respecto del sistema de coordenadas global.

La solución planteada mediante pares estéreo permite reducir un problema de calibración complejo, a muchos subproblemas más sencillos. Además, esto permite que las cámaras se encuentren más alejadas entre sí ampliando el área de cobertura, ya que no es necesario que haya solapamiento entre todas las cámaras.

Si bien se utilizaron métodos que reducen en cierta forma el error de la estimación, descartando aquellas imágenes en las que hubo una mala detección del patrón, no existe una minimización propiamente dicha del error. En un posible trabajo a futuro, podría añadirse a la estimación final algún algoritmo de *bundle adjustment*, los cuales se basan en ajustar los parámetros de calibración mediante el modelo matemático de proyección de puntos que describe el funcionamiento de la cámara.