



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE COMPUTACIÓN

# Seguimiento de Objetos en Secuencias de Imágenes RGB-D

Tesis presentada para optar al título de  
Licenciado en Ciencias de la Computación

Mariano Bianchi

Director: Francisco Roberto Gómez Fernández  
Buenos Aires, 2014

# SEGUIMIENTO DE OBJETOS EN SECUENCIAS DE IMÁGENES RGB-D

Acá iría el abstract en español (aprox. 200 palabras).

**Palabras claves:** español, abstract, acá (no menos de 5).

# OBJECT TRACKING USING RGB-D IMAGE SEQUENCES

Escribir acá el abstract IN ENGLISH ;) (aprox. 200 palabras).

**Keywords:** Escribir, ENGLISH, acá (no menos de 5).

## AGRADECIMIENTOS

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Fusce sapien ipsum, aliquet eget convallis at, adipiscing non odio. Donec porttitor tincidunt cursus. In tellus dui, varius sed scelerisque faucibus, sagittis non magna. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Mauris et luctus justo. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Mauris sit amet purus massa, sed sodales justo. Mauris id mi sed orci porttitor dictum. Donec vitae mi non leo consectetur tempus vel et sapien. Curabitur enim quam, sollicitudin id iaculis id, congue euismod diam. Sed in eros nec urna lacinia porttitor ut vitae nulla. Ut mattis, erat et laoreet feugiat, lacus urna hendrerit nisi, at tincidunt dui justo at felis. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Ut iaculis euismod magna et consequat. Mauris eu augue in ipsum elementum dictum. Sed accumsan, velit vel vehicula dignissim, nibh tellus consequat metus, vel fringilla neque dolor in dolor. Aliquam ac justo ut lectus iaculis pharetra vitae sed turpis. Aliquam pulvinar lorem vel ipsum auctor et hendrerit nisl molestie. Donec id felis nec ante placerat vehicula. Sed lacus risus, aliquet vel facilisis eu, placerat vitae augue.

## Índice general

1..	Introducción . . . . .	1
2..	Sistema de seguimiento . . . . .	4
2.1.	Método propuesto RGB . . . . .	5
2.1.1.	Entrenamiento . . . . .	5
2.1.2.	Detección . . . . .	5
2.1.3.	Seguimiento . . . . .	5
2.2.	Método propuesto en D . . . . .	5
2.2.1.	Alignment prerejective . . . . .	5
2.2.2.	Iterative Closest Point (ICP) . . . . .	5
2.2.3.	Entrenamiento . . . . .	8
2.2.4.	Detección . . . . .	8
2.2.5.	Seguimiento . . . . .	8
2.3.	Método propuesto en RGB-D . . . . .	8
2.3.1.	Entrenamiento . . . . .	8
2.3.2.	Detección . . . . .	8
2.3.3.	Seguimiento . . . . .	8
3..	Base de datos RGB-D . . . . .	9
3.1.	Parte de la propuesta que quedó afuera . . . . .	10
3.2.	Elección de parámetros . . . . .	10
4..	Resultados . . . . .	12
4.1.	Experimentación . . . . .	12
4.1.1.	Elección de parámetros RGB . . . . .	13
4.1.2.	Evaluación del tracking RGB . . . . .	13
4.2.	Discusión . . . . .	16

5.. Conclusiones . . . . .	17
Bibliografía . . . . .	18

# 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las posibles aplicaciones de métodos de seguimiento o tracking son muchas y van desde el uso en la industria hasta juegos de consola. Un ejemplo de ello es la fabricación de barcos y autos mediante el uso de robots. Estas tareas se caracterizan por la necesidad de posicionar de manera precisa una herramienta sobre una pieza de trabajo. A través del uso de métodos de tracking se puede conocer la ubicación y pose de la pieza que se desea utilizar con respecto a la ubicación de la cámara y de esta forma saber cómo posicionar la herramienta necesaria para trabajar sobre la pieza en cuestión.

Otra área en donde se utiliza tracking de objetos intensamente es para la generación de estadísticas deportivas, por ejemplo, durante un partido de fútbol, tanto de jugadores como de un equipo. Las posibles aplicaciones en este contexto son mucho más amplias, como por ejemplo análisis de tácticas, verificación de las decisiones del árbitro, resúmenes automáticos de un partido, etc.

Actualmente existen sensores de profundidad que en conjunto con una cámara RGB pueden ser utilizados para detectar y seguir a una o más personas en tiempo real. De esta manera, mediante un sistema que procese las imágenes RGB-D de estos sensores, las personas puedan utilizar su cuerpo y sus movimientos para interactuar naturalmente con un dispositivo.

La utilización de sensores RGB-D se ha popularizado en los últimos años, cobrando un gran interés científico el estudio de aplicaciones y métodos capaces de procesar y entender la información que los mismos proveen.

La información de profundidad obtenida por un sensor RGB-D es un dato fundamental que nos posibilita encontrar la distancia de un objeto con respecto al sensor pudiendo recuperar su información tridimensional (3D) junto a su textura RGB en tiempo real (30 cuadros por segundo). El video RGB-D

que se obtiene provee una gran ayuda al mejoramiento y desarrollo de nuevas técnicas de procesamiento de imágenes y video ya conocidas. En particular, en esta tesis nos enfocamos en el seguimiento de objetos en secuencias de imágenes RGB-D.

mbianchi: Esto va en la introducción? (ex “trabajo relacionado”)

En el artículo [PLW11] se implementan las tres etapas de un sistema de seguimiento nombradas anteriormente. Cada una de estas etapas es abordada de distintas maneras según la literatura actual. La etapa de entrenamiento consiste en obtener una representación tridimensional del objeto al cuál se pretende seguir. En el artículo [DC99] se utiliza un entrenamiento off-line que consiste en obtener un modelo CAD (computer-aided design) del objeto que se desea seguir. Luego, en el artículo [PLW11] se presenta una etapa de entrenamiento novedosa que se realiza de manera on-line, en donde utiliza un marcador conocido para definir las coordenadas de los objetos y calibrar la cámara.

La etapa de detección tiene como objetivo obtener la ubicación del objeto a seguir en un frame dado. En el artículo [PLW11] utilizan el método propuesto en [HLI<sup>+</sup>10] para detección de objetos en imágenes 2D y lo extienden para estimar la pose 3D. Otros métodos conocidos en la literatura son los propuestos en [Bru09, KRTA13].

La etapa de seguimiento 3D cuadro a cuadro es la más importante y de la que depende el éxito o fracaso de todo el sistema de seguimiento. En el artículo [PLW11] utilizan el algoritmo “Iterative Closest Point” (ICP) propuesto en [Zha94, BM92], refinando el resultado con datos de bordes tomados durante la fase de entrenamiento. El método utilizado por [DC99] se basa en la detección de bordes para realizar el seguimiento frame a frame.

El objetivo principal de esta tesis es la implementación, estudio y evaluación de un sistema de seguimiento de objetos en secuencias de imágenes RGB-D de objetos tridimensionales con forma conocida previamente que se pueda aplicar a datos/escenas obtenidas a través de sensores de profundidad de bajo costo (Kinect, XTion, etc.).



mbianchi: Falta escribir: aportes e importancia, breve resultados y conclusiones y organizacion de la tesis por capitulo

## 2. SISTEMA DE SEGUIMIENTO

Un sistema de seguimiento se puede dividir en tres etapas bien definidas:

1. Entrenamiento
2. Detección
3. Seguimiento cuadro a cuadro

La etapa de entrenamiento consiste en obtener una representación del objeto al cuál se pretende seguir. Para llevarla a cabo se puede utilizar un patrón (template) ya conocido o aprenderlo de imágenes capturadas del mismo objeto. Luego se utiliza en la detección para ubicar la representación del objeto dentro de una imagen cualquiera. Una vez conocido el template no se requiere de una nueva ejecución del entrenamiento.

La segunda etapa, la de detección, radica en encontrar dentro de un frame del video al objeto en cuestión utilizando el método de detección deseado, valiéndose de la información obtenida en la etapa de entrenamiento. Esta etapa se ejecuta, con el propósito de encontrar en la imagen el objeto a seguir, al comienzo del sistema de seguimiento y cuando el seguimiento cuadro a cuadro falla. Dado que la etapa de detección suele ser la más costosa en términos de desempeño computacional es deseable que se ejecute la menor cantidad de veces posible.

Finalmente, la tercera etapa consiste en seguir cuadro a cuadro el objeto detectado en la etapa anterior. Es decir, teniendo la ubicación del objeto en un cuadro de video se desea identificar la posición del mismo objeto en el siguiente frame. Esta etapa es la más importante ya que es la que se ejecuta en cada frame del video. La eficiencia del método de seguimiento es lo que determinará que todo el sistema de seguimiento se consiga realizar eficientemente. Si la técnica de seguimiento tiene una efectividad baja, es decir, no logra identificar la nueva posición del objeto en el siguiente cuadro,

se debe volver a la etapa de detección cuyo desempeño computacional es mayor.

Tomando como base estas etapas, proponemos distintos métodos para cada una de ellas tanto para RGB como para D y RGB-D. La primera etapa del sistema puede ser prescindible si contamos con el modelo RGB-D del objeto a seguir y una cámara calibrada. Este es el caso de estudio de esta tesis, ya que, con el propósito de poder evaluar cuantitativamente el seguimiento de objetos en secuencias de imágenes RGB-D, utilizamos la base de datos descrita en la sección 3.

## 2.1. Método propuesto RGB

### 2.1.1. Entrenamiento

### 2.1.2. Detección

### 2.1.3. Seguimiento

## 2.2. Método propuesto en D

### 2.2.1. Alignment prerejective

### 2.2.2. Iterative Closest Point (ICP)

Para esta primera etapa existen varias posibilidades distintas que van desde utilizar una única nube de puntos hasta generar un modelo completo del objeto 3D alineando todas las nubes de puntos disponibles en la base.

mbianchi: La tarea de generar un modelo completo excede el tema de estudio de esta tesis. Además el modelo resultante se utilizara únicamente para la etapa de detección por lo que se optó por el método más simple que es tomar una nube de puntos cualquiera del objeto a seguir como modelo 3D.

pachi: Quedó afuera porque nos enfocamos en tracking

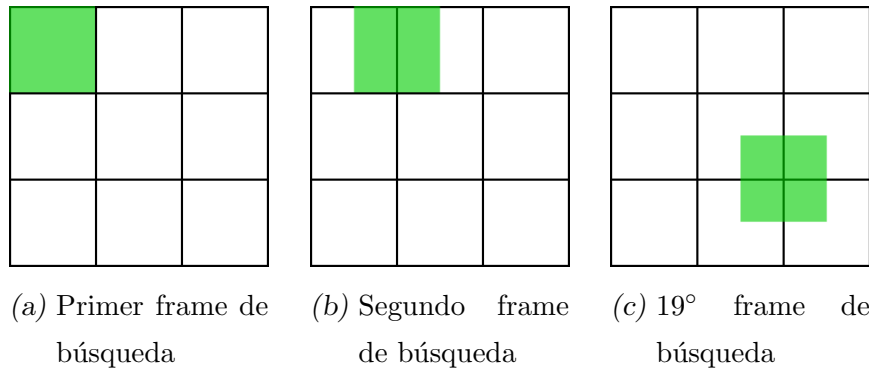


Fig. 2.1: Se busca en cada cuadrante de la grilla y en los recuadros del mismo tamaño que cubren los bordes de la grilla principal

Por estos motivos se decidió elegir una nube de puntos fija para cada objeto, en particular, la que posee rotación 0. Otra posibilidad es elegir de todas las nubes de puntos de cada objeto presentes en la base alguna cualquiera al azar. Esto resulta más realista pero sería un problema al momento de analizar los resultados ya que se agregaría una variante azarosa y se deberían correr muchas veces la misma prueba para lograr un análisis más acertado.

Para la segunda etapa, la de detección, se utilizó el método descrito en la sección 2.2.1 refinando el resultado con ICP. La elección del mismo se realizó luego de correr varias pruebas que corroboraran la factibilidad del mismo. En estas pruebas también se observó que si la región donde se buscaba el objeto era lo suficientemente pequeña la búsqueda era más robusta.

pachi: Mejor más chica?

Teniendo en cuenta esto se pensó en una variante para la detección que utilice el método elegido. Esta tiene como primer paso obtener el alto y el ancho del modelo del objeto a seguir y escalarlos según un valor, llamado **DETECTION\_FRAME\_SIZE**. Considerando estos valores dividimos la escena en cuadrantes de ese tamaño y corrimos el método de detección en cada cuadrante. Con el fin de detectar el objeto cuando el mismo se extiende sobre dos o más regiones, la búsqueda se hizo utilizando un marco que recorre todos los cuadrantes y sus uniones, como puede observarse en el gráfico 2.1.

Notar que la división por cuadrantes solo se realizó en los ejes “x” e “y” y no en el eje de profundidad ya que las pruebas preeliminares dieron buenos resultados de esta manera y hacer eso implicaba agregarle complejidad algorítmica al método. La detección se corre en cada uno de estos cuadrantes y pueden suceder varias cosas:

- No se encontró el objeto en ningún cuadrante: en este caso el algoritmo indica que el objeto no se encuentra en el frame
- Se encontró el objeto en un cuadrante
- Se encontró el objeto en varios cuadrantes: el algoritmo devuelve la mejor posición encontrada según un puntaje de buena alineación devuelto por el algoritmo *alignment prerejective*.

Si la detección es positiva, se refina la alineación corriendo ICP entre el modelo del objeto transformado por el método “alignment prerejective” y el cuadrante de la escena donde fue encontrado el mismo. Con el objetivo de comenzar el seguimiento en las mejores condiciones posibles, se intentan tomar los puntos del objeto buscado pertenecientes a la escena. Esto se realiza porque se asume que el objeto se va modificando cuadro a cuadro, ya sea por movimientos de la cámara o del objeto. Una de las formas para obtener los puntos del modelo del objeto en la escena es utilizando un *k-dtree*<sup>1</sup>.

pachi: Explicar un poco que es un kdtree

Se arma un *k-dtree* con los puntos provenientes del modelo alineado y se filtran uno a uno los puntos de la escena que se encuentren cerca de al menos un punto del modelo en un cierto radio de distancia. Este valor de radio es uno de los parámetros explorados durante las pruebas, llamado **LEAF\_SIZE**. Los puntos que surjan de esta búsqueda son los considerados encontrados en la escena. Para que el algoritmo de búsqueda considere exitosa la detección, la cantidad de puntos filtrados de la escena debe ser mayor o igual al 50 % de los puntos del modelo original. Si todas estas etapas son superadas con éxito,

<sup>1</sup> AGREGAR REFERENCIA A KDTREE

---

se considera que el objeto fue encontrado y se pasa a la siguiente etapa de seguimiento. Si cualquiera de estos pasos fallara, se comienza nuevamente con la etapa de detección en el siguiente frame.

La tercera y última etapa BLABLABLA

### **2.2.3. Entrenamiento**

### **2.2.4. Detección**

### **2.2.5. Seguimiento**

## **2.3. Método propuesto en RGB-D**

### **2.3.1. Entrenamiento**

### **2.3.2. Detección**

### **2.3.3. Seguimiento**

### 3. BASE DE DATOS RGB-D

Durante el desarrollo de este trabajo se utilizaron secuencias con información de ground truth de imágenes RGB-D anotadas para aplicar los métodos estudiados y tener una referencia para hacer comparaciones y sacar conclusiones sobre su eficacia. Las escenas fueron tomados del trabajo [LBRF11] en donde se creó una base de objetos y escenas. Esta base cuenta con varias escenas. Cada una de ellas consta de varios frames RGB con su respectiva información de profundidad. Además, la base provee información frame a frame de qué objetos aparecen y cuál es su ubicación en el plano RGB.

Figura con ejemplos de las escenas, por ejemplo: 2 filas con varias columnas cada una en donde haya frames RGB arriba y sus equivalentes en depth abajo

Por otra parte, la base provee imágenes RGB-D de los objetos presentes en las escenas antes mencionadas con el objetivo de obtener su representación 3D.

pachi: Comentar como fueron adquiridas la resolución, longitud y ¿?

Cada una de estas imágenes es acompañada además por una máscara que segmenta al objeto buscado y la información de profundidad (nube de puntos) del objeto segmentado. Para tomar estas imágenes los objetos fueron posados en una base circular giratoria y manteniendo la cámara en una posición fija se tomaron muestras con cierta regularidad cubriendo toda la circunferencia de cada objeto. Esto se hizo además desde distintas alturas permitiendo apreciar la profundidad del objeto y así obtener una mejor descripción del mismo.

Los objetos elegidos para esta base se organizaron de una manera jerárquica tomada de las relaciones hiperónimo/hipónimo de WordNet. Cada objeto

pertenece a una clase de objetos y hay varias instancias por cada clase. Por ejemplo, en la categoría “taza” existen varias instancias diferentes, que se corresponden simplemente a distintas tazas ya sea por forma o por color.

mbianchi: No hice pruebas usando varias instancias de un mismo objeto...

Existen distintas escenas que contienen a los objetos mencionados y en cada escena se combinan distintas clases de objetos y distintas instancias de la misma clase. De esta manera la base otorga la posibilidad de verificar algoritmos capaces de identificar instancias de objetos particulares o familias de objetos según la clasificación antes mencionada.

### 3.1. Parte de la propuesta que quedó afuera

La detección se realizó utilizando [BKK<sup>+</sup>13] y corrigiendo con ICP. Cosas a escribir:

- qué sucedió al tratar de detectar en toda la escena
- cómo se hizo para dividir la escena en partes y detectar en cada una

La utilización del algoritmo ICP [Zha94, BM92] para realizar el seguimiento resulta natural e intuitiva. Por ello, es que en esta tesis se estudiará el algoritmo ICP y sus variantes [EBW04, SHT09], con el fin de evaluar cómo sus parámetros afectan cuantitativamente al sistema de seguimiento y la performance computacional del mismo. Asimismo, se evaluará la adaptabilidad del filtro de Kalman [WB95] para seguimiento de objetos 3D en imágenes RGB-D con posibilidad de desempeño en tiempo real. El filtro de Kalman es un filtro muy popular y estudiado extensivamente en la literatura [JU97, WVDM00] debido a su gran desempeño para realizar seguimiento en imágenes 2D. Por lo tanto, su aplicación en seguimiento de objetos 3D resulta de especial interés.

### 3.2. Elección de parámetros



Método	coffee.mug.5			cap.4			bowl.3		
	% Over.	STD	% foll.	% Over.	STD	% foll.	% Over.	STD	% foll.
<b>Bhatta. ch. verde</b>	38.52	32.50	85.53	54.37	18.52	87.80	64.95	43.44	40.00
Correl. ch. verde	21.68	31.54	90.79	49.88	11.07	97.56	46.84	44.30	60.91
Bhatta. x canal	33.76	20.11	94.74	49.95	14.01	95.12	10.96	22.78	97.27
RGB y HSV	39.32	25.19	92.11	56.69	21.39	82.93	73.32	40.70	30.91

Tab. 3.1: Corregir valores!

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Experimentación

mbianchi: Breve introducción de la experimentación en general (explicar subsecciones y cosas generales)

mbianchi: Comentar brevemente la evaluación del tracking y elección de parámetros y explicar por qué se eligió usar como detección el valor sacado del ground truth.

Para cuantificar la efectividad y robustez del tracking del algoritmo elegido decidimos evaluar las siguientes variables:

- Taza de falsos positivos: cantidad de veces que el algoritmo reporta haber encontrado el objeto cuando en realidad no está en la imagen
- Taza de falsos negativos: cantidad de veces que el algoritmo no encuentra el objeto cuando en realidad el mismo está en la imagen
- Promedio de área solapada: promedio de solapamiento de área<sup>1</sup> entre el objeto reportado por el algoritmo y el ground truth durante toda la escena
- Desviación estándar del área solapada
- % de veces seguido: de todas las veces que el objeto aparece en la escena obtenemos el porcentaje de veces que el algoritmo de seguimiento fue exitoso

---

<sup>1</sup> Ver [http://pascallin.ecs.soton.ac.uk/challenges/VOC/voc2011/workshop/voc\\_seg.pdf](http://pascallin.ecs.soton.ac.uk/challenges/VOC/voc2011/workshop/voc_seg.pdf), página 7, Evaluation Metric

#### 4.1.1. Elección de parámetros RGB

mbianchi: No se donde explicar esto ni donde explicar todos los métodos que probé y que fui descartando con pruebas mas sencillas.

EL método de seguimiento por comparación de histogramas explicado en la sección

mbianchi: SECCION DONDE SE EXPLICA LA COMPARACION DE HISTOGRAMAS

es un método sencillo pero que posee muchas variables para explorar que permiten modificar la eficacia del algoritmo. Decidimos reducir el número de variables a explorar variando únicamente el método de comparación de histogramas, el modelo de color elegido para comparar (RGB o HSV), un umbral para la comparación entre el objeto en el frame actual y el objeto encontrado en el frame anterior y otro para comparar el objeto en el frame actual y el modelo del objeto buscado.

#### 4.1.2. Evaluación del tracking RGB

A continuación se muestran los resultados del algoritmo de seguimiento elegido para las imágenes RGB con los valores de los parámetros ya fijados. Para todas las pruebas se eligieron tres objetos distintos que aparecen en dos escenas, todos sacados de la base de datos indicada en la sección 3.

Objeto	% promedio de overlap	overlap STD	% veces seguido	Falsos Positivos	Falsos Negativos
Taza	36.75	26.20	90.79	0	0
Gorra	57.93	21.77	80.49	0	0
Bowl	74.13	40.24	30.91	0	0

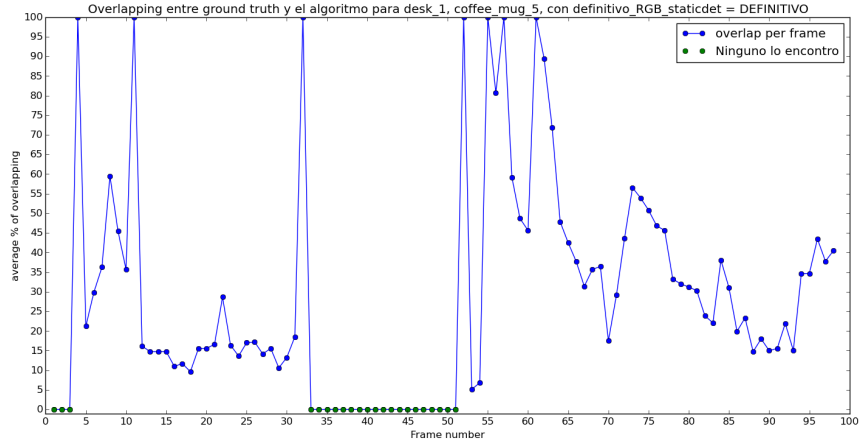
Tab. 4.1: Resultados del tracking RGB utilizando como detección los valores sacados de la base de datos

Como podemos ver en la tabla 4.1 el tracking se comporta de manera muy diversa dependiendo del objeto que se esté analizando. En los casos

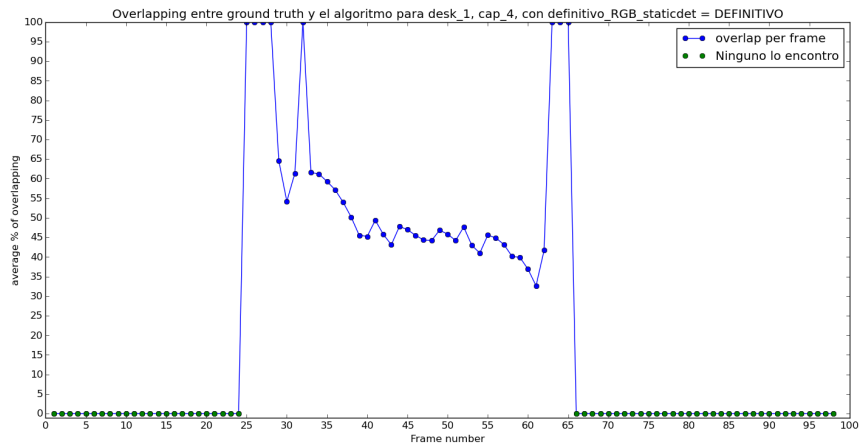
de la taza y la gorra el algoritmo es exitoso en la mayoría de los casos, 90 % y 80 % respectivamente. De todas maneras si se observa el promedio de solapamiento vemos que se comporta mucho mejor en el caso de la gorra. Creemos que esto se debe a la marcada diferencia de color entre la gorra y el fondo de la imagen. Esto no sucede en el caso de la taza en el que repetidas veces el color de fondo varía entre colores y tonos similares a los de esta lo que provoca que la comparación de histogramas no sea robusta. En el caso del bowl el promedio de solapamiento es alto pero se debe a que el porcentaje de veces que se siguió al objeto es bajo. Como el algoritmo de detección es el ideal, cuantas más veces se usa la detección mejor es el porcentaje de solapamiento. Este análisis está hecho en una escena distinta a la escena de la taza y la gorra. Notamos que en esta escena los cambios en la luminosidad y la coloración son muy notorios lo que afecta negativamente al algoritmo.

En la figura 4.1 se intenta visualizar mejor el comportamiento del algoritmo para cada objeto en las distintas escenas. En cada gráfico se muestra para cada escena y por cada frame el porcentaje de solapamiento entre el área del objeto reportada por el algoritmo y la indicada por el ground truth. Los puntos que están en 0 de color verde indican que el objeto no fue encontrado y que eso coincide con el ground truth, como es el caso de los gráficos 4.1a y 4.1b. En el gráfico 4.1c se ven dos puntos en 0 de color amarillo. Esto indica que el algoritmo reporta haber seguido al objeto pero que el área no se solapa con el área del ground truth. Para los tres gráficos, todas los frames cuyo área es igual a 100 % se corresponde con las veces que el algoritmo de detección fue corrido, es decir, cuando falló el seguimiento.

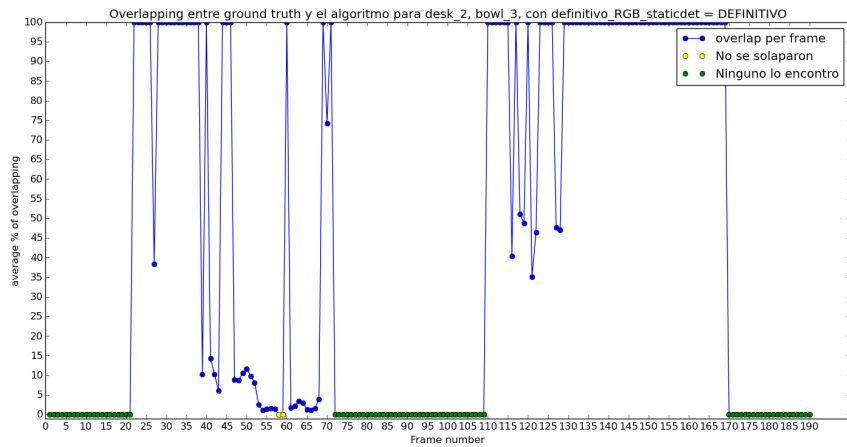
Se puede ver en el gráfico 4.1a que el algoritmo de seguimiento reporta un área que se solapa entre un 15 % y un 50 % en la mayoría de los casos. En el gráfico 4.1b la mayoría oscila entre un 35 % y un 50 % y en el gráfico 4.1c se observa que la mayoría se encuentra entre un 1 % y un 10 %. Una hipótesis es que el algoritmo no funciona correctamente cuando los objetos tienen poca textura y esto empeora si existen objetos cercanos cuya textura sea similar a la del objeto que se está buscando. Este sería el caso de la taza



(a) Seguimiento frame a frame para la taza



(b) Seguimiento frame a frame para la gorra



(c) Seguimiento frame a frame para el bowl

Fig. 4.1:

mbianchi: Description

y del bowl. Ambos son objetos con poca textura de color blanco que pueden camuflarse con otros objetos de la escena.

mbianchi: No estaría bueno indicar el porcentaje de solapamiento promedio del algoritmo de seguimiento sin tener en cuenta las detecciones????

## 4.2. Discusión

## 5. CONCLUSIONES

## Bibliografía

- [BKK<sup>+</sup>13] A.G. Buch, D. Kraft, J.-K. Kamarainen, H.G. Petersen, and N. Kruger. Pose estimation using local structure-specific shape and appearance context. In *Robotics and Automation (ICRA), 2013 IEEE International Conference on*, pages 2080–2087, May 2013.
- [BM92] P.J. Besl and Neil D. McKay. A method for registration of 3-d shapes. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 14(2):239–256, 1992.
- [Bru09] Roberto Brunelli. *Template matching techniques in computer vision: theory and practice*. Wiley. com, 2009.
- [DC99] Tom Drummond and Roberto Cipolla. Real-time tracking of complex structures with on-line camera calibration. In *BMVC*, pages 1–10. Citeseer, 1999.
- [EBW04] Raúl San José Estépar, Anders Brun, and Carl-Fredrik Westin. Robust generalized total least squares iterative closest point registration. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2004*, pages 234–241. Springer, 2004.
- [HLI<sup>+</sup>10] Stefan Hinterstoisser, Vincent Lepetit, Slobodan Ilic, Pascal Fua, and Nassir Navab. Dominant orientation templates for real-time detection of texture-less objects. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010 IEEE Conference on*, pages 2257–2264. IEEE, 2010.
- [JU97] Simon J Julier and Jeffrey K Uhlmann. New extension of the kalman filter to nonlinear systems. In *AeroSense’97*, pages 182–193. International Society for Optics and Photonics, 1997.



- 
- [KRTA13] S. Korman, D. Reichman, G. Tsur, and S. Avidan. Fast-match: Fast affine template matching. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2013 IEEE Conference on*, pages 2331–2338, 2013.
- [LBRF11] Kevin Lai, Liefeng Bo, Xiaofeng Ren, and Dieter Fox. A large-scale hierarchical multi-view rgb-d object dataset. In *Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on*, pages 1817–1824. IEEE, 2011.
- [PLW11] Youngmin Park, Vincent Lepetit, and Woontack Woo. Texture-less object tracking with online training using an rgb-d camera. In *Mixed and Augmented Reality (ISMAR), 2011 10th IEEE International Symposium on*, pages 121–126. IEEE, 2011.
- [SHT09] Aleksandr Segal, Dirk Haehnel, and Sebastian Thrun. Generalized-icp. In *Robotics: Science and Systems*, volume 2, page 4, 2009.
- [WB95] Greg Welch and Gary Bishop. An introduction to the kalman filter, 1995.
- [WVDM00] Eric A Wan and Rudolph Van Der Merwe. The unscented kalman filter for nonlinear estimation. In *Adaptive Systems for Signal Processing, Communications, and Control Symposium 2000. AS-SPCC. The IEEE 2000*, pages 153–158. IEEE, 2000.
- [Zha94] Zhengyou Zhang. Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces. *International Journal of Computer Vision*, 13(2):119–152, 1994.