

*Estudio y Selección de las Técnicas
SIFT, SURF y ASIFT de
Reconocimiento de Imágenes para el
Diseño de un Prototipo en
Dispositivos Móviles.*

Andrea Maricela Plaza Cordero

Jorge Luis Zambrano Martínez

Autores

Dirigido por:

Ing. Vladimir Robles Bykbaev.

Ingeniero de Sistemas

Docente de la Universidad Politécnica Salesiana

Estudio y Selección de las Técnicas SIFT, SURF y ASIFT de reconocimiento de imágenes para el diseño de un prototipo en dispositivos móviles.

Abstract

Las técnicas de visión por computador son una subdivisión de la inteligencia artificial, mediante la cual usando una imagen, un grupo de imágenes o una secuencia de imágenes, tenemos la posibilidad de extraer información importante para realizar diversas operaciones como: reconocimiento de objetos, calibración de la cámara, modelado 3D, visión robótica, seguimiento de video, tratamiento de imágenes (contraste, brillo, umbral, etc), entre otros. Existen muchos campos en los que se pueden usar como: rayos x, tomografía, infrarrojos, sensores ópticos, sensores de rangos, meteorología, robótica, entre otros.

La aplicación a desarrollar tiene como objetivo ayudar a las personas no videntes, puesto que este grupo de individuos ha sido excluido de la sociedad, ya que todos los elementos que se encuentran en nuestro alrededor no ayudan sino mas bien les hace apartarse de las tareas cotidianas, siendo estas difíciles de realizar; por lo tanto se planteó el desarrollo de un reconocedor de billetes, ya que en este ámbito las personas no videntes son estafadas a menudo cuando realizan el pago o cobro. La aplicación poseerá los siguientes puntos: uso del acelerómetro (una de las grandes ventajas que posee iOS es la presentación del acelerómetro mediante el cual se llamarán los diversos procesos), cámara (se refiere a la captura de las imágenes haciendo uso del dispositivo móvil), sonido(estará basado en diversas ayudas o pasos auditivos, mediante el cual la persona podrá guiarse de cómo será su uso) y vibraciones (alertará sobre diferentes actos que pudiesen desarrollarse).

1 Introducción

La sociedad y la tecnología van evolucionando día a día, y penosamente también las formas de estafa de los cuales son víctimas las personas con discapacidad visual¹, ya sea al momento de comprar o realizar sus actividades diarias, pensando en ellos se realizó el diseño de un prototipo de reconocimiento de imágenes en dispositivos móviles, el cual al poseer una ayuda auditiva puede ser usado para personas con los cuatro niveles de agudeza visual[1]: ceguera total o amaurosis, ceguera legal, disminución o limitación visual y baja visión, visión parcial o visión subnormal. De esta manera pueden tener una independencia y no estar sujetos a ayuda de otras personas.

En la actualidad existen diversos métodos usados en el reconocimiento de imágenes, algunos con mayor o menor precisión. SIFT es un algoritmo para

¹Estado que tiene una persona en donde posee una carencia, limitación o algún defecto en el sentido de la visión

detectar y describir las características locales en las imágenes, fue descubierto por David Lowe en 1999, por lo tanto es una técnica bastante joven; pero en si no es el único método, otra técnica que también llama la atención es SURF, un método inspirado en SIFT que se presentó en el 2006, pero que trae una nueva funcionalidad: su rapidez.

La técnica a ser usada para el reconocimiento es ASIFT, ya que a diferencia del método SIFT que solo simula tres parámetros, ahora con ASIFT se simulan seis parámetros: el zoom, el ángulo de la cámara en latitud, el ángulo de la cámara en longitud y normaliza los parámetros de traslación, rotación y escala.

La aplicación empezará dando una bienvenida a las personas no videntes, usando un asistente auditivo, luego deberá únicamente tocar la pantalla en cualquier punto del dispositivo móvil y este capturará una imagen, la cual luego será procesada usando metodología de visión artificial, respondiendo de forma auditiva (denominación del billete). Presentará la opción de cambio de idioma, facilitando que su uso sea para personas no videntes que hablen o conozcan los dos idiomas principales (Español, Inglés).

2 Modelo Propuesto

2.1 Técnica Empleada

2.2 SIFT

SIFT es un método propuesto por David Lowe en 1999, en donde una imagen se le transforma la información en coordenadas invariantes de escala y rotación, posteriormente a la luminosidad. Las técnicas anteriores a la aparición de SIFT, solamente se preocupaban del factor de escala, por lo tanto el coste computacional no era tan alto como con SIFT [2][3].

2.2.1 Etapas

- Detector

Scale-space extrema detection (Detección de puntos extremos luego de obtener una transformación espacio-escala)

- Función scale-space: $L(x,y,\sigma)$

* Se debe realizar una búsqueda de los keypoints en todas las localizaciones de todas las escalas², para lo cual se usa la función continua $L(x,y,\sigma)$, convolucionando la imagen $I(x,y)$ y la gaussiana, como se ilustra en la Ecuación1.

$$L(x,y,\sigma) = G(x,y,\sigma) * I(x,y) \quad (1)$$

- Función Difference-of-Gaussian: $D(x,y,\sigma)$

²Conjunto de imágenes de diversos tamaños y con el mismo valor σ [?]

- * En esta etapa de debe obtener keypoints más estables, por lo tanto ahora se trabajará con difference-of-gaussian, la cual es simplemente la resta de las imágenes vecinas pero que deben ser de la misma octava ³, como se ilustra en la Ecuación 2.

$$\begin{aligned} D(x, y, \sigma) &= [G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)] * I(x, y) \\ D(x, y, \sigma) &= L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \end{aligned} \quad (2)$$

– Local extrema detection

- * Ahora lo que se deberá realizar es encontrar los máximos y mínimos locales, para lo cual cada pixel de cada imagen de la pirámide obtenida en el punto anterior, serán comparados con los nueve pixeles de la escala anterior y posterior, además con los ocho pixeles de la misma imagen. Los keypoints que sobrevivan serán los que sean menor o mayor a todos los 26.

Keypoint localization (Detección de puntos claves)

Se debe almacenar la información de los keypoints como es la octava y su escala, además de la fila y columna, cabe mencionar que se eliminarán los puntos que presenten las siguientes características:

1. Supresión de puntos de bajo contraste
2. Supresión de puntos situados a lo largo de bordes

Orientation assignment

Se toma un pixel como central y se va a determinar cual es la orientación, para lo cual seleccionamos una región de 16x16 pixeles alrededor del pixel central, y a cada pixel se calculará su gradiente, usando el módulo e inclinación. Para cada keypoint se deberá agrupar la información en un histograma en 36 orientaciones, el cual posee los valores de orientación que son ponderados usando el valor del módulo y pasando por la ventana circular gaussiana de $\sigma = 1.5 \times$ escala [3].

• Keypoint Descriptor

Se debe realizar un descriptor, para lo cual cada gradiente de la región de 16x16 se deberá rotar como lo especifica en el punto anterior, luego seleccionamos una región de 4x4 pixeles alrededor del pixel central, obteniendo 16 regiones de 8 orientaciones, para no tener cambios bruscos se le pasará mediante una ventana circular gaussiana de $\sigma = 0,5$ [2].

• Matching (cálculo de correspondencias)

Al ya tener un descriptor, que es un conjunto de elementos que tienen las principales orientaciones de un keypoint, se deberá determinar si en dos imágenes existen correspondencias, es decir similitud, para lo cual se usa la diferencia euclídea como se visualiza en la Ecuación 3.

³Conjunto de imágenes de diversos parámetros σ y con el mismo tamaño [?]

$$\begin{aligned}
 dif_i &= \sqrt{(a_i - b_i)^2} \\
 n &= \# \text{histogramas} * \# \text{rotaciones} \\
 dif_{total} &= \sum_1^n dif_i
 \end{aligned} \tag{3}$$

2.3 ASIFT

ASIFT a diferencia del método SIFT, simula tres parámetros: el zoom, el ángulo de la cámara en latitud y el ángulo de la cámara en longitud, y normaliza los otros 3 parámetros: la traslación, rotación y escala[4].

2.3.1 Etapas:

- Afinación de la Aproximación Local

Como se observa en la Figura 1, el como se tome una imagen mediante la cámara, hará que la perspectiva también cambie, por ejemplo: el piso de la imagen está proyectada, es decir: el piso rectangular se transforma en un trapecio, mientras que cada italpiso es un paralelogramo, esto se debe a la proyección [5].



Figura 1: Modelo de la Cámara [5]

- Simulación de Distorsiones

A diferencia del método SIFT, en este caso la imagen se va a transformar en todas las distorsiones posibles provocados por la orientación de la cámara (la longitud φ , la latitud ϑ). Primero la imagen deberá ser sujeta a la rotación del ángulo (φ), luego a una inclinación de $t = 1 / |\cos \vartheta|$. Cuando tenemos imágenes digitales, la inclinación es por una t direccional, por lo tanto se debe usar un filtro que le suavice usando una convolución de la desviación estándar y de la gausiana.

- Matching

Luego las imágenes deberán ser comparadas como se ilustra en la Figura 2, usando la metodología de SIFT, posteriormente se usa la comparación de pares, mas existe el riesgo de que algunos keypoints malos no sean eliminados, para lo cual se usa una geometría epipolar, ya que al no ser compatibles los keypoints son eliminados. ASIFT usa el algoritmo ORSA⁴, la

⁴Algoritmo optimizado de muestreo aleatorio para filtrar los partidos malos

cual es considerada como el método más robusto y fiable cuando hablamos de extremos, usando la geometría epipolar.

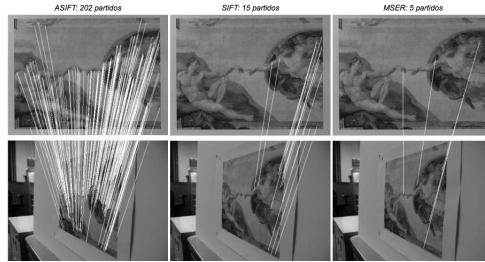


Figura 2: Ejemplo de comparaciones ASIFT [5]

2.4 Corpus Empleado

El corpus⁵ está formado por doce billetes de las diversas denominaciones tanto su parte delantera como la posterior, puesto que la persona no vidente al realizar la captura de la imagen podrá hacerla en ambos sentidos, como se muestra en la Figura 3.

Denominación	Parte Delantera	Parte Posterior
Un dólar		
Cinco dólares		
Diez dólares		
Veinte dólares		
Cincuenta dólares		
Cien dólares		

Figura 3: Corpus a ser usado

⁵Corpus se refiere a la recopilación de un conjunto de imágenes que serán usados como base, dependiendo del tipo de método a usar el corpus aumentará o disminuirá de tamaño y de igual manera será realizada la preparación.

Se visualiza en el Cuadro 1 las características del corpus, dependiendo del algoritmo a ser usado.

	SIFT	ASIFT
pixeles	300 x 200	300 x 200
formato	pgm	png
bytes	8 bytes (escala de grises)	32 bytes (RGB)

Cuadro 1: Características específicas del corpus

Se obtuvo el corpus bajo un entrenamiento previo, almacenando los keypoints en un archivo de texto plano (*.key), el cual está conformado como se ilustra en la Figura 4

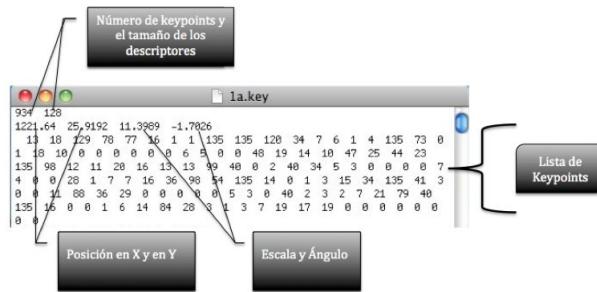


Figura 4: Formato según David Lowe

3 Experimentación Realizada

3.1 Pruebas de Simulador

3.1.1 Ejecución

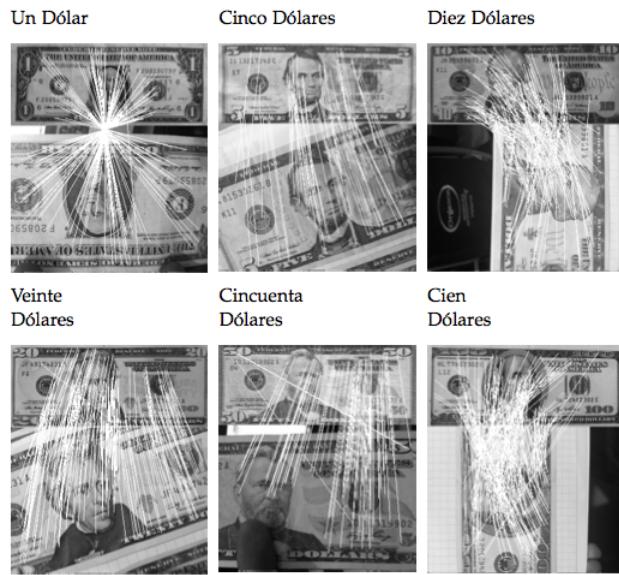
A continuación se muestra en el Cuadro 2 y 3, la imagen resultante al realizar el match entre los patrones muestra y patrones prueba, tanto en los algoritmos SIFT y ASIFT, respectivamente.

3.1.2 Análisis de Resultados

En el siguiente Cuadro 4 y 5 podemos observar los diversos keypoints que se obtuvieron con sus respectivos match al realizar la comparación, haciendo uso de los algoritmos SIFT y ASIFT, en el último se podrá observar que se hace uso de TILTS, siendo este el número de simulaciones a realizarse.



Cuadro 2: Imágenes resultantes con ASIFT



Cuadro 3: Imágenes resultantes con SIFT

Denominación	Patrón muestra	Patrón prueba	Match
Un Dólar	698 keypoints	1061 keypoints	131 matches
Cinco Dólares	668 keypoints	942 keypoints	67 matches
Diez Dólares	614 keypoints	647 keypoints	132 matches
Veinte Dólares	603 keypoints	892 keypoints	184 matches
Cincuenta Dólares	530 keypoints	739 keypoints	102 matches
Cien Dólares	563 keypoints	498 keypoints	202 matches

Cuadro 4: Análisis de resultados con SIFT

Denominación	TILTS	Patrón muestra	Patrón prueba	Match
Un Dólar	1	582 keypoints	618 keypoints	14 matches
	4	2539 keypoints	2559 keypoints	116 matches
	7	2867 keypoints	2824 keypoints	128 matches
Cinco Dólares	1	554 keypoints	620 keypoints	32 matches
	4	2670 keypoints	2543 keypoints	121 matches
	7	3001 keypoints	2858 keypoints	148 matches
Diez Dólares	1	319 keypoints	619 keypoints	21 matches
	4	1732 keypoints	2469 keypoints	140 matches
	7	1972 keypoints	2765 keypoints	151 matches
Veinte Dólares	1	512 keypoints	534 keypoints	58 matches
	4	2353 keypoints	2344 keypoints	272 matches
	7	2707 keypoints	2662 keypoints	302 matches
Cincuenta Dólares	1	417 keypoints	557 keypoints	36 matches
	4	2145 keypoints	2326 keypoints	236 matches
	7	2437 keypoints	2646 keypoints	254 matches
Cien Dólares	1	275 keypoints	524 keypoints	26 matches
	4	1527 keypoints	2304 keypoints	193 matches
	7	1797 keypoints	2521 keypoints	198 matches

Cuadro 5: Análisis de resultados con ASIFT

3.2 Implementación de la Solución

3.2.1 Modelo de Procesos

Se está haciendo uso de un autómata finito como se ilustra en la Figura 5, indicando las transiciones y estados.

3.2.2 UML

En la Figura 6 se indica el UML a ser usado.

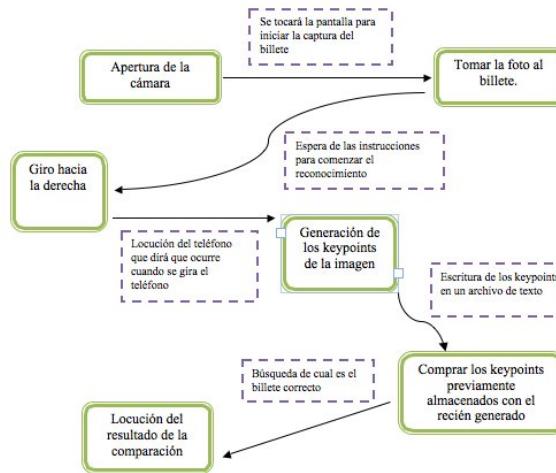


Figura 5: Modelo de Procesos

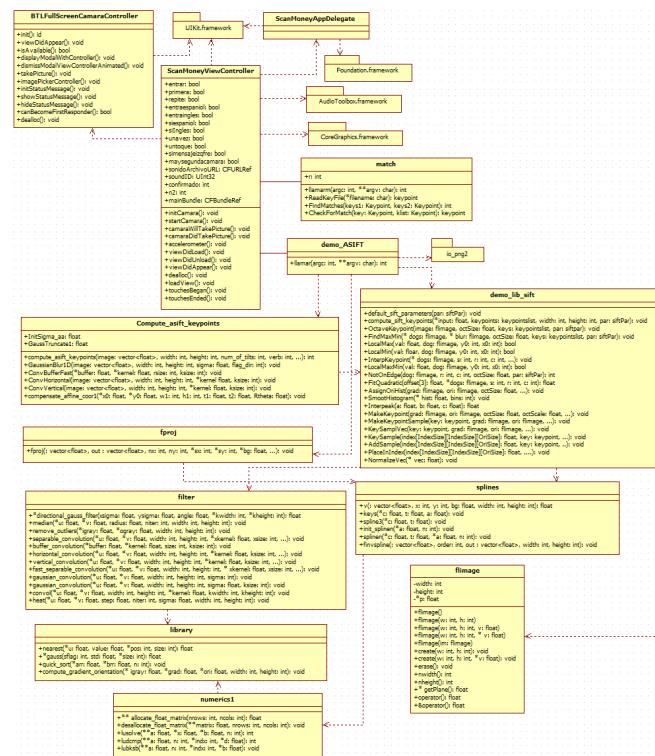


Figura 6: UML

3.3 Funcionalidades de la Aplicación

3.3.1 Cámara

Este módulo permitirá manejar el uso de la cámara del iphone. Se ha definido que no se tome la foto de la cámara mediante un botón, sino solo al tocar por encima de la pantalla, puesto que al ser personas no videntes debe ser lo más fácil de usar.

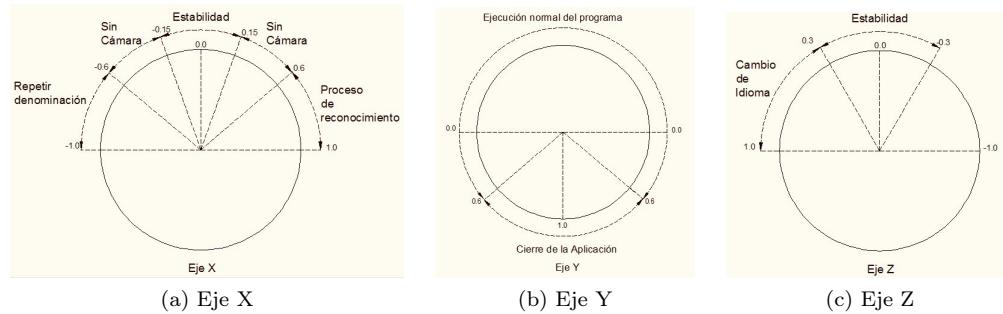
3.3.2 Acelerómetro

Este módulo es indispensable para el correcto funcionamiento y comodidad del usuario, ya que con solo girar en determinadas posiciones el dispositivo móvil, se podrá realizar varias operaciones sin tener la necesidad de estar pulsando botones virtuales en la pantalla. Por lo tanto se debe manejar al celular en sus tres ejes respectivos X, Y, Z.

A continuación se indican las opciones que posee:

- Eje X como se ilustra en la Figura 6a
 - Estabilidad.
 - * Permite que se pueda tomar la foto pulsando en la pantalla del dispositivo móvil únicamente una vez.
 - * Se activa el cambio de idioma una vez y la función de repetir la denominación.
 - Sin cámara.
 - * Deshabilita la opción de tocar la pantalla y por ende tomar la foto.
 - Repetir denominación.
 - * Permite que se repita la locución de la denominación de billete.
 - Proceso de reconocimiento.
 - * Se refiere tanto a la parte de generación de keypoint como a su respectivo match.
- Eje Y como se ilustra en la Figura 6b:
 - Cierre de la aplicación.
 - * Por el mismo hecho que son personas invidentes, se desarrolló la forma que solo al poner el celular de cabeza se cierre la aplicación completamente.
- Eje Z como se ilustra en la Figura 6c:
 - Estabilidad.

- * Permite que se pueda tomar la foto pulsando en la pantalla del dispositivo móvil únicamente una vez.
- * Se activa el cambio de idioma una vez.
- Cambio de idioma.
 - * Se puede elegir el idioma en el que se va a realizar todo el proceso.



Cuadro 6: Acelerómetro

3.3.3 Idioma

Lo que se realiza con el idioma es darle la posibilidad al usuario de manejar la aplicación tanto en Inglés como Español, llegando a cubrir mayores áreas de población.

3.3.4 Keypoint

Al momento de haber realizado la captura de nuestra imagen, se deberá pasar por un conjunto de procesos matemáticos para obtener los puntos más relevantes de nuestra imagen. Posteriormente mediante instrucciones se generará un archivo de texto plano que contiene los puntos principales de la imagen, según el formato de David Lowe.

3.3.5 Matching

Esta parte del desarrollo, es complemento con el punto anterior, ya que está basado en la comparación de los keypoints obtenidos de las dos imágenes (patrón de muestra y el patrón de prueba). Dependiendo de la cantidad de coincidencias entre los dos archivos de texto plano, se llega a la conclusión cual es la denominación del billete que fue tomado. La comparación es realizada en el siguiente orden: Parte delantera (1 dólar, 5 dólares, 10 dólares, 20 dólares, 50 dólares y 100 dólares) y parte posterior respectivamente.

3.4 Pruebas de Laboratorio

Imágenes nítidas

Las imágenes tomadas deben presentar un grado del 85% de nitidez como se ilustra en la Figura 7a , puesto que si son movidas no se pueden identificar los keypoints y por lo tanto el matching no será correcto como se visualiza en la Figura 7b.

Distancia

La distancia con la que se puede tomar al billete, no debe ser de más de 10 cm como se ilustra en el Cuadro 7, se pueden presentar otros objetos dentro del escenario de la imagen como es un dedo, entre otros. Las imágenes que son detectadas como incorrectas son:

- Cerca: Si se encuentra demasiado cerca no se podrán detectar los keypoints necesarios como se visualiza en la Figura 7d.
- Lejos: Si se encuentra demasiado lejos existirán muy pocos keypoints sobre el billete, sin contar con que también va a detectar otras imágenes como se ilustra en la Figura 7e

Secciones tomadas

Un punto muy importante y que no se lo puede dejar de presentar, son las áreas que son tomadas. En el caso que se tome únicamente una área o esquina del billete, no se podrán obtener los keypoints necesarios para realizar el matching, como podemos observar en la Figura 7c.

Varios billetes

Se debe presentar únicamente un billete a la cámara, caso contrario si se presentan más de un billete como se visualiza en la Figura 7f, dependiendo del número de keypoints obtenidos, se tendrán dos resultados: billete no encontrado o que identifique al billete que más keypoints presentó.

3.5 Pruebas de Campo

Se realizaron pruebas en el Instituto Especial de Invidentes y Sordos del Azuay (IEISA) como se observa en la Ilustración 7, siendo este un centro educativo de tipo fiscal, creado mediante acuerdo Ministerial No 016 el 7 de octubre de 1971, tomando en cuenta la necesidad de dar atención y ayuda a las personas carentes de visión y audición.

Se obtuvieron grandes resultados al realizar las pruebas, puesto que la aplicación funcionó correctamente, como se visualiza en las Ilustraciones 8, 9, 10 y 11.



Cuadro 7: Pruebas de Laboratorio

4 Resultados Obtenidos

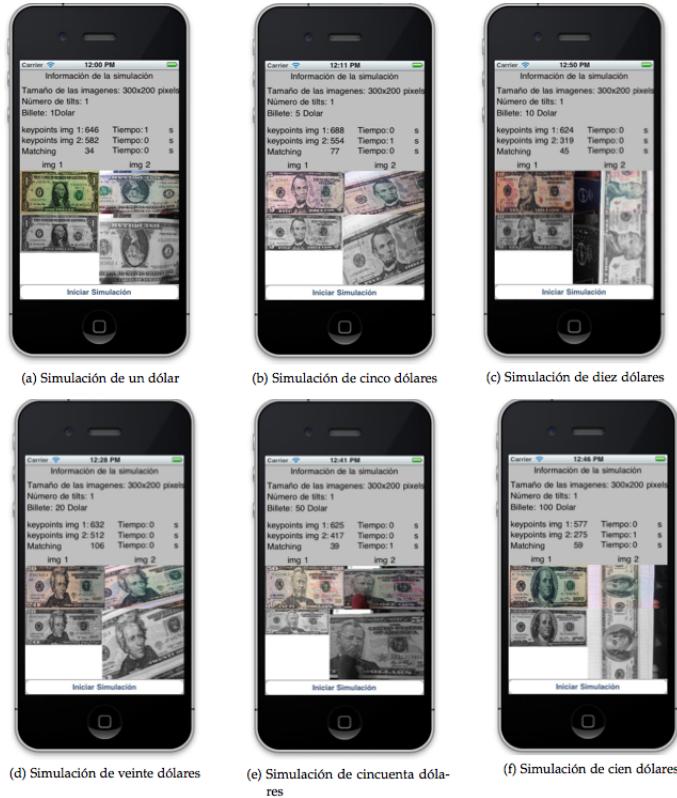
4.1 Resultados de Identificación de Billetes

Usando las técnicas de reconocimiento SIFT y ASIFT, se pudieron obtener los resultados que se visualizan en el Cuadro 8, presentando el número de keypoints obtenidos de la imagen de prueba y muestra; el tiempo que se demoró y los matching.

4.2 Rendimiento de la Aplicación

Los resultados de las diversas pruebas se obtuvieron mediante una herramienta llamada Instruments⁶. El billete de 1 dólar, es la denominación que menos se demora en el proceso de comparación como se muestra en la Figura 9a, donde el tiempo de demora es de 25 seg, considerando tanto la creación del archivo con su respectivo keypoint, y la comparación con el banco de keypoints almacenados previamente. El uso del CPU es en promedio del 90%, por lo que se tiene que realizar una lectura de la imagen en formato PNG, con una librería denominada libpng, y luego pasar a transcribir en un archivo de texto plano. Después de este proceso, comienza la comparación entre el archivo de texto plano recién creado y el banco de keypoints, entregando como respuesta la denominación correcta. El uso de la memoria para todas las denominaciones siempre oscila entre 30MB a 40MB, y en el caso del procesamiento de la imagen alcanza un máximo de 140MB. En el caso del billete de cien dólares, que es la denominación que más

⁶Mide el rendimiento de las aplicaciones ejecutadas en tiempo real, tanto el uso del disco duro, memoria física del dispositivo, entre otros.



Cuadro 8: Resultados Obtenidos

se demora en el proceso de comparación como se muestra en la Figura ??, el tiempo de demora para que de como respuesta la locución de “cien dólares”, es de un minuto aproximadamente. Para lo cual se obtuvieron los respectivos keypoints en un archivo de texto plano, y el matching con el banco de keypoints.

5 Conclusiones

La inteligencia artificial se encuentra en diversas áreas, llegando cada vez con mayor peso sobre todo en las áreas sociales que necesitan más de nuestra ayuda.

La aplicación fue realizado uniendo un conjunto de técnicas, en la parte de la obtención de los keypoint se decidió usar la técnica ASIFT, puesto que nos brindaba la posibilidad de un mayor número de keypoints, lo cual nos resultaba beneficioso al momento de realizar la comparación, luego al realizar el matching se uso la técnica SIFT, ya que nos brinda un tiempo de respuesta factible, aproximadamente 1 min, mientras que con la técnica ASIFT presentaba un tiempo de respuesta muy alto, aproximadamente 25 min.

Se tuvo que seleccionar un corpus basado en las imágenes de los billetes, teniendo una dimensión de 300 x 200. Los keypoint de las imágenes de muestra fueron generados y almacenados en el dispositivo móvil llegando a mejorar el tiempo de procesamiento, mientras que las imágenes de prueba tomadas en ese momento siempre tendrán el mismo nombre para así únicamente ser reemplazados al momento de tomarse y no ocupar espacio innecesario.

Como conclusión final se logró realizar el reconocimiento de las diversas denominaciones de billetes, tanto en su parte delantera como posterior, llegando a tener un tiempo de demora máximo de un minuto, de igual manera se brindó la mayor adaptabilidad al usuario no vidente para su uso, usando un control de voz para activar la aplicación, de igual manera se tiene una ayuda auditiva que le va diciendo paso a paso los diversos procesos que tendrá que hacer. No está basado en el uso de botones virtuales, sino únicamente con el movimiento del dispositivo móvil, haciendo uso del acelerómetro.

6 Trabajo Futuro

Diseñar y construir un dispositivo que sea adaptable al usuario no vidente, eliminando ciertas características que son innecesarias para el usuario como son: juegos, etc. y añadiendo otras nuevas como son: ScanMoney, el mejoramiento de la resolución de la cámara, etc. Podrían trabajar con SIRI, el cual es un asistente de voz que controla todo el dispositivo móvil, brindándonos una mayor facilidad y funcionalidad. También se podría llegar a internacionalizar los tipos de billetes, es decir, no solo sean dólares, sino además euros, entre otros. Llegando así a cubrir un mercado mucho más amplio y no limitándose únicamente a una población en particular.

Referencias

- [1] OMS, “Ceguera y discapacidad Visual,”
- [2] Vedaldi, Andrea, “An implementation of SIFT detector and descriptor,” *University of California at Los Angeles*
- [3] Lowe, David G., “Distinctive image features from scale-invariant keypoints,” *International Journal of Computer Vision*, p. 110, 5 Enero 2004
- [4] Morel, Jean-Michel and Yu, Guoshen, *ASIFT: A New Framework for Fully Affine Invariant Image Comparison*, volume 2, Citeseer, 2009
- [5] Sapiro, Guillermo, “ASIFT: An Algorithm for Fully Affine Invariant Comparison,” , Febrero 2011

Anexos

Pruebas Realizadas en IEISA



Figura 7: Instituto Especial de Invidentes y Sordos del Azuay (IEISA)



Figura 8: Pruebas realizadas 1



Figura 9: Pruebas realizadas 2



Figura 10: Pruebas realizadas 3



Figura 11: Pruebas realizadas 4

Certificación de IEISA



E-mail: ieisaag@gmail.com

INSTITUTO ESPECIAL DE INVIDENTES Y SORDOS DEL AZUAY "I.E.I.S.A."

Dirección: Av. El Paraíso • Teléfono: 2498048 • Cuenca - Ecuador

CERTIFICACIÓN

La dirección del Instituto Especial de Invidentes y Sordos del Azuay, a petición verbal.

CERTIFICA:

Que los estudiantes: ANDREA MARICELA PLAZA CORDERO, con C.I. 0105287726; y, JORGE LUIS ZAMBRANO MARTINEZ con C.I. 0104445556, alumnos de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Politécnica Salesiana, realizaron la Tesis, previo a la obtención del Titulo Ingeniero de Sistemas, sobre el tema SCANMONEY, trabajo que lo desarrollaron en este Instituto de Educación Especial y que beneficia a las personas con Discapacidad Visual. Se trata de un prototipo, para la detección de las diversas denominaciones de billetes, usando un dispositivo móvil.

El trabajo realizado es de gran beneficio para este importante sector de la población con discapacidad visual, que les va ayudar a superar esta limitación al poder reconocer los billetes de diferente denominación.

Los mencionados estudiantes iniciaron este trabajo el 29 de junio y concluyeron el 18 de noviembre del año en curso..

Es todo cuanto puedo informar, autorizando a las personas interesadas dar al presente documento el uso que estimen conveniente.

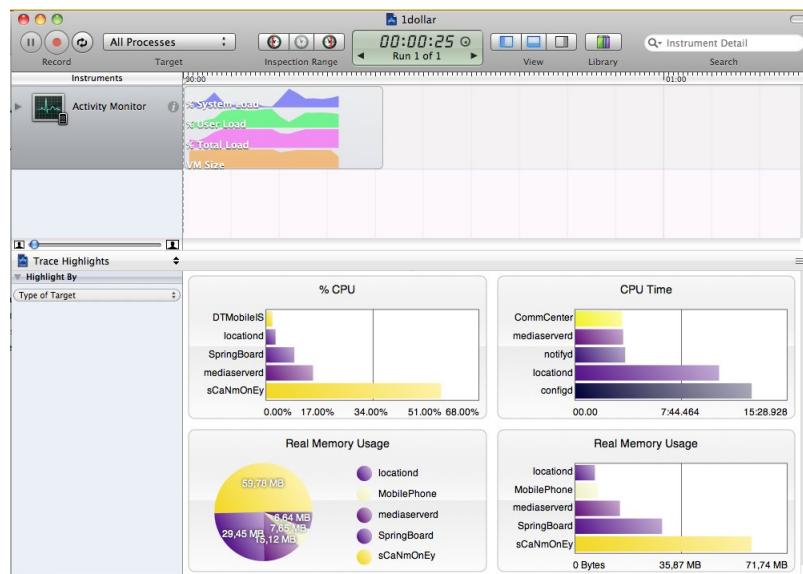
Lic. Miriam Falconi Erazo.,
DIRECTORA DEL I.E.I.S.A.

Cuenca, 22 de noviembre de 2011

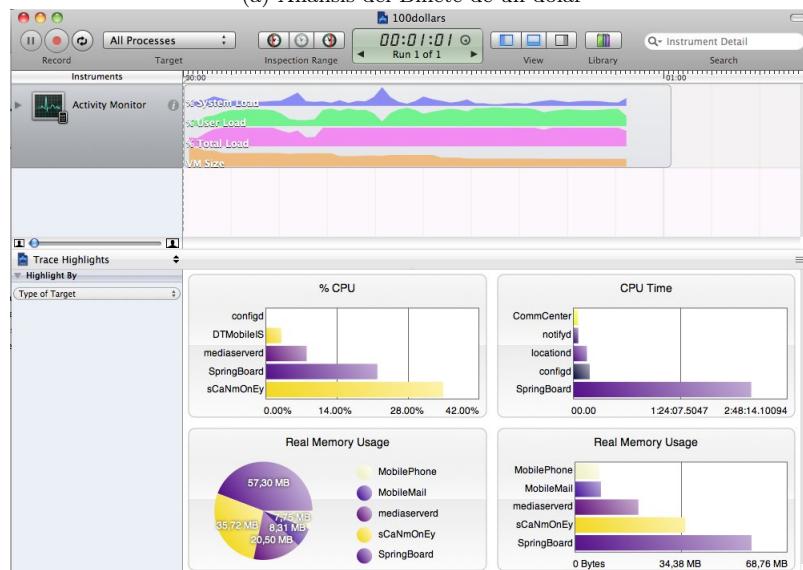


Figura 12: Certificación de IEISA

Rendimiento de la Aplicación



(a) Análisis del Billete de un dólar



(b) Análisis del Billete de cien dólares

Cuadro 9: Rendimiento de la Aplicación

Proceso

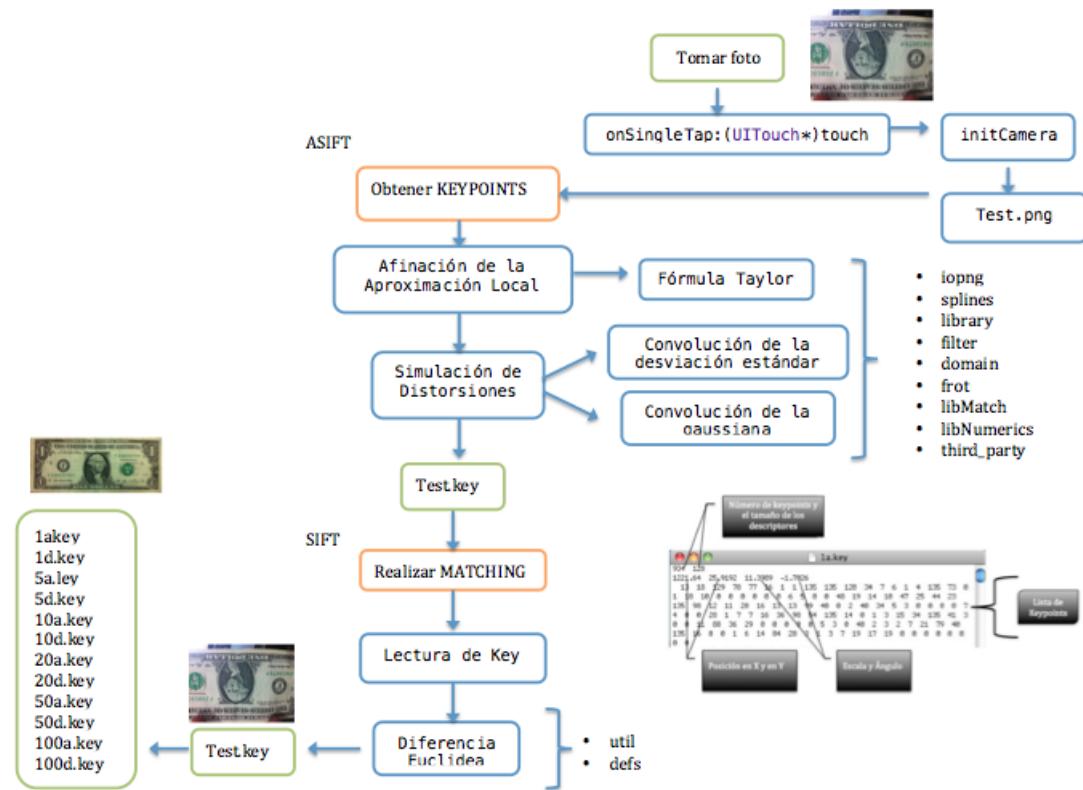


Figura 13: Proceso