
CAPÍTULO 1

Navegación e Identificación

1.1. Introducción

Como se plantea en el Capítulo ?? las tres partes del recorrido son *Navegación*, *Identificación* y *Realidad aumentada*. En este capítulo se presentan las alternativas investigadas y finalmente implementadas para poder lograr un grado de completitud en la aplicación. Para el caso de las alternativas implementadas se aporta mayor detalle sobre la resolución.

1.2. Navegación

1.2.1. Distintos métodos de Navegación.

Como se comentó en el Capítulo ??, se estudiaron distintas alternativas para la navegación o localización en el interior del museo. Dentro de las más importantes se encuentra la navegación con *access points*, la navegación con GPS y la navegación con códigos QR. A continuación se explican algunos detalles de las mismas.

1.2.2. Navegación con GPS

La tecnología GPS (*Global Positioning System*) es altamente usada como sistema asesor para vehículos y sistemas de información geográfica y basa su funcionamiento en el procesamiento de señales RF. Algunas bibliografías afirman que su precisión supera los 3m en el 95 % de los casos [?]. La clave de este sistema de posicionamiento radica en que las señales de RF son ondas electromagnéticas y viajan a la velocidad de la luz. Entonces mediante el uso de tres satélites o más y osciladores que permitan medir tiempos con muy buena precisión, es posible estimar la posición de la que son recibidas las señales de RF. Sin embargo, resulta imposible utilizar esta tecnología en lugares cerrados o muy edificados. Se decidió entonces que esta no era la herramienta indicada para el problema de localización.

1.2.3. Navegación con *access points*

Existen otros sistemas de localización que están comenzando a utilizarse para ambientes cerrados y que utilizan algunas ideas del sistema GPS. A estos sistemas se los conoce como *Indoor Positioning System* o IPS y existen distintas variantes ya sea procesando señales RF, ondas sonoras o

luz. Una de las posibilidades es utilizar *GPS Indoor* pero esta opción resulta bastante cara. La localización interior con estándares IEEE 802.11 (WiFi), se obtiene mediante el procesamiento de señales RF y la idea es, una vez conocida la posición de los transmisores WiFi (*Access Points*) presentes en una sala, se miden las distintas señales recibidas por un dispositivo móvil (provenientes de cada uno de los APs). De esta manera, se logra ubicar al móvil dentro de la sala. Es posible utilizar diferentes medidas, como por ejemplo, la potencia de las señales recibidas, el tiempo de propagación de cada una de ellas o incluso sus ángulos de incidencia.

Debido a su gran complejidad, esta alternativa se descartó, ya que la idea no era centrar el proyecto en la navegación de interiores, sino usarla simplemente como una herramienta para la completitud de la aplicación final.

1.2.4. Navegación con códigos QR

1.2.4.1. ¿Cómo incorporarlos a la navegación?

La navegación con códigos QR quizá es bastante sencilla de implementar. Simplemente se tiene que tener un código QR ubicado en forma estratégica en cada zona con la que se quiere asociar y el usuario puede recorrer el museo libremente e ir decodificando los códigos en la medida que los ve.

1.2.4.2. Identificadores QR: una realidad cotidiana.

El uso de los identificadores QR (Quick Response), es cada vez más generalizado. Últimamente, debido al incremento significativo del uso de *smart devices*, el hecho de poder contar con una cámara, cierto poder de procesamiento y por lo general hasta una conexión móvil a internet, hace que sea cada vez más frecuente encontrar aplicaciones con el poder de reconocer QRs. Comenzaron utilizándose en la industria automotriz japonesa como una solución para el trazado en la línea de producción, pero su campo de aplicación se ha diversificado y hoy en día se pueden encontrar también como identificadores de entradas deportivas, tickets de avión, localización geográfica, vínculos a páginas web y en algunos casos también como tarjetas personales.

1.2.4.3. ¿Qué son los QR?

Los QRs, creados por la compañía japonesa *Denso Wave* en 1994 [?], son una extensión de los códigos de barra. Incorporan una segunda dimensión lo cual es una gran ventaja ya que pueden almacenar mucho más información y que puede ser accedida a gran velocidad. Existen distintos tipos de QR, con distintas capacidades de almacenamiento que dependen de la versión, el tipo de datos almacenados y del tipo de corrección de errores. En su versión 40 con detección de errores de nivel L, se pueden almacenar alrededor de 4300 caracteres alfanuméricos o 7000 dígitos (frente a los 20-30 dígitos del código de barras) lo cual lo hace muy flexible para cualquier tipo de aplicación de identificación.

En la Figura 1.1 se pueden ver las distintas partes que componen un QR, como por ejemplo el bloque de control, compuesto por las tres esquinas idénticas que dan información de la posición, la información de alineamiento y el patrón de sincronismo; así como también la indicación de versión, formato y la corrección de errores. Fuera de toda esa información, que podría verse como el encabezado, haciendo analogía con los paquetes de las redes de datos, se encuentran los datos propiamente dichos, que podrían verse como el cuerpo del paquete.

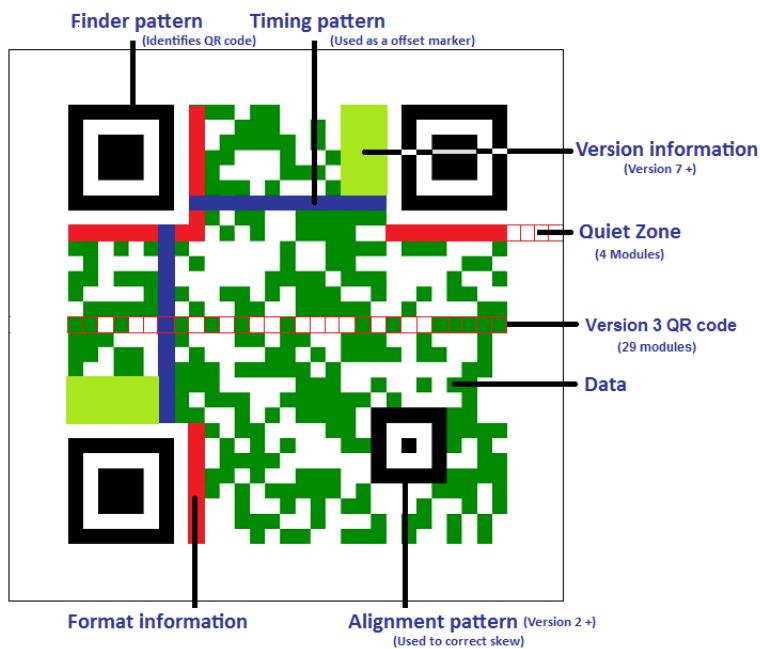


Figura 1.1: Las distintas componentes de un QR. Tomada de: [?].

1.2.4.4. Codificación y decodificación de códigos QR.

Es fácil darse cuenta que la codificación resulta mucho más sencilla que la decodificación. Para la codificación es necesario comprender el protocolo, las distintas variantes y el tipo de información que se pretende almacenar. Sin embargo, para la decodificación, además de tener que cumplir con lo anterior, es necesario contar con buenos sensores y ciertas condiciones de luminosidad y distancia que favorezcan a la cámara y se traduzcan en buenos resultados luego de la detección de errores. Si bien la plataforma es importante para lograr buenos resultados, dada una plataforma, existen variadas aplicaciones tanto para iOS como para Android que cuentan con performances bastante diferentes en función del algoritmo de procesamiento utilizado.

Debido a que el centro del presente proyecto no fue la codificación y decodificación de QRs, y que además ya existen distintas librerías que resuelven muy bien este problema, se optó por investigar varias de ellas e incorporar la más adecuada a la aplicación.

Entre todas las librerías que resuelven la decodificación, las librerías **ZXing** [?] y **ZBar** [?] son quizá las más destacadas, por su popularidad, simplicidad y buena documentación para la fácil implementación. ZXing, denominada así por “Zebra Crossing”, es una librería gratis y en código abierto desarrollada en java y que tiene implementaciones que están adaptadas para otros lenguajes como C++, Objetive-C y JRuby, entre otros.

Por su parte ZBar también tiene soporte sobre varios lenguajes y cuenta con un kit de desarrollo interesante para lograr fácilmente aplicaciones que integren el lector de QR. Luego de haber trabajado sobre el código de ejemplo que contiene la implementación de las clases principales para obtener un lector se optó por utilizar esta librería para los fines de la aplicación. En este código de ejemplo, al presionarse un botón da la posibilidad de escanear directamente y guardar el contenido del QR en una variable denominada *ZBarReaderControllerResults*. Esta variable luego se mapea en una *hash table* con el contenido en formato *NSDictionary*. De esta manera se accede fácilmente al contenido en formato legible y es fácil de hacer una lógica de comparación y búsqueda en una base de datos.

1.2.4.5. Expresiones artísticas con QRs.

La opción de usar los QR de una manera distinta ha comenzado a ser notoria en los últimos tiempos. Hay quienes desafían a la información *cruda de 1s y 0s* incorporando imágenes y modificando colores y contornos en los QR tradicionales para lograr un valor estético además del funcional. Véase en la Figura 1.2 un ejemplo de cómo puede lograrse el mismo resultado pero con el valor agregado de originalidad.



Figura 1.2: Ejemplo de un QRs creativos. Tomada de: [?].

1.3. Técnicas de identificación

Existen múltiples técnicas de identificación basadas en la extracción de características. En el Capítulo ?? se analizan variados algoritmos de extracción de características que tienen como fin la estimación de pose. En esta sección se presenta y desarrolla el algoritmo SIFT, que se basa en la extracción de características y permite generar descriptores que sirven como identificadores de una imagen. Por su parte este algoritmo también puede ser utilizado para la estimación de pose pero en el presente proyecto no se profundizó en este aspecto por lo que se desarrollará el enfoque de identificación.

1.3.1. SIFT

El algoritmo SIFT, acrónimo de “Scale Invariant Feature Transform”, es un algoritmo de visión artificial [?], [?], que se encarga de extraer características distintivas de las imágenes en escala de grises. Mediante estas, es posible luego reconocer dicha imagen dentro de una base de datos o incluso dentro de otra imagen mayor con otra cantidad de elementos en desorden. Estas características son invariantes a factores de escala, traslación, rotación y parcialmente invariantes a cambios de iluminación y afinidades. El algoritmo consta básicamente de cuatro pasos que se explicarán brevemente en secciones subsiguientes.

1.3.1.1. Detección de extremos en el espacio-escala.

Se busca encontrar dentro del *scale-space* (espacio-escala) de la imagen puntos característicos; invariantes a la traslación, el escalado y la rotación de la misma. Además esos puntos deben ser mínimamente afectados por el ruido y pequeñas distorsiones. Serán los puntos extremos (máximos o mínimos) obtenidos de las diferencias Gaussianas aplicadas al *scale-space* de la imagen. El *scale-space* de una imagen se define como una familia de imágenes $L(x, y, \sigma)$ que se obtienen de convolucionar un núcleo Gaussiano variable en su desviación estándar $G(x, y, \sigma)$ con una imagen de entrada $I(x, y)$:

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

donde $*$ denota la convolución en x e y , y además:

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

Una imagen diferencia de Gaussianas, $D(x, y, \sigma)$, se define entonces de la siguiente manera:

$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma)$$

con k un factor multiplicativo constante.

Dado un valor inicial para σ , se le realiza a la imagen un número s de diferencias Gaussianas con la desviación estándar variando de manera creciente a lo largo de una octava (hasta obtener un $\sigma' = 2\sigma$). Para obtener s intervalos enteros dentro de dicha octava el valor de k en cada diferencia Gaussiana debe ser de $2^{\frac{1}{s}}$. Una vez calculadas las diferencias Gaussianas a lo largo de la octava, la imagen se submuestra tomando 1 de cada 2 píxeles en filas y columnas y se procede de la misma manera. La cantidad de octavas involucradas en el cálculo así como la cantidad de diferencias Gaussianas calculadas por octava son un parámetro a determinar. En la Figura 1.3 se puede ver lo anterior explicado gráficamente.

Una vez que se obtiene la “pirámide” de diferencia de Gaussianas anterior, se buscan para cada “piso” de la misma extremos locales quienes se transformarán en candidatos a puntos clave. Para una $D(x, y, \sigma)$ determinada y en una octava determinada, un punto (x_0, y_0) será un máximo (mínimo) relativo si es mayor (menor) a sus 8 puntos vecinos dentro de su nivel y a sus 9 puntos vecinos de cada uno de los niveles inferior y superior. Si el punto se encuentra en una $D(x, y, \sigma)$ de transición entre 2 octavas, se buscan los puntos vecinos correspondientes del nivel superior (inferior). Ver Figura 1.4.

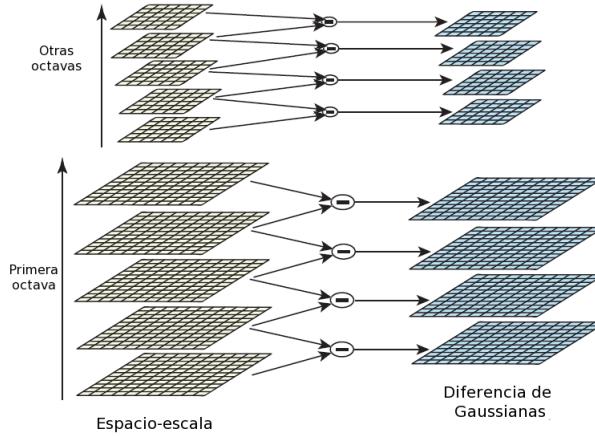


Figura 1.3: Para cada octava, la imagen original es convolucionada repetidamente con Gaussianas de desviación estándar variable para producir el *scale-space* de la izquierda. Imágenes adyacentes del *space-scale* son restadas para lograr la diferencia de Gaussianas de la derecha. Después de cada octava, la imagen borrosa es submuestreada por un factor de dos y el proceso se repite. Figura tomada de [?].

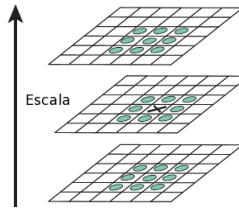


Figura 1.4: Máximos y mínimos de las imágenes diferencia de Gaussianas son obtenidos comparando cada píxeles con sus vecinos en la misma escala, y en las escalas adyacentes. Figura tomada de [?].

1.3.1.2. Localización exacta de puntos clave.

La búsqueda de extremos en las diferencias de Gaussianas produce múltiples candidatos entre los que se encuentran puntos con poco contraste; los cuales no son estables a cambios de iluminación y al ruido. Para quitarlos se procede de la siguiente manera.

Primero se realiza una expansión de Taylor de orden 2 en torno a cada extremo detectado (x_0, y_0, σ_0) :

$$D(\chi) = D + \frac{\partial D^T}{\partial \chi} \chi + \frac{1}{2} \chi^T \frac{\partial^2 D}{\partial \chi^2} \chi \quad (1.1)$$

donde D y sus derivadas son evaluadas siempre en el punto en cuestión y $\chi = (x, y, \sigma)^T$ es la posición relativa al mismo. Derivando la aproximación anterior e igualándola a cero se obtiene:

$$\bar{\chi} = -\frac{\partial^2 D^{-1}}{\partial \chi^2} \frac{\partial D}{\partial \chi} \quad (1.2)$$

Reemplazando (1.2) en (1.1) se obtiene el valor del máximo local:

$$D(\bar{\chi}) = D + \frac{1}{2} \frac{\partial D^T}{\partial \chi} \bar{\chi}$$

Finalmente, si $|D(\bar{\chi})| < 0,03$ el punto es eliminado de la lista de puntos clave; suponiendo que D toma valores entre 0 y 1.

Además de quitar aquellos puntos con poco contraste, hay que quitar a los puntos candidatos que pertenecen a una línea y no a una esquina. Para ello, sea H la matriz Hessiana de $D(x, y, \sigma)$ evaluada en un punto extremo de las diferencias de Gaussianas determinado (x_0, y_0, σ_0) , se estará en presencia de un borde (línea) si sus valores propios α y β son uno grande y el otro pequeño. Lo anterior es equivalente a trabajar con los siguientes resultados:

$$\text{Trazo}(H) = \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 D}{\partial y^2} = \alpha + \beta$$

$$\text{Det}(H) = \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} \times \frac{\partial^2 D}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 D}{\partial x \cdot \partial y} \right)^2 = \alpha \cdot \beta$$

Sea la $\alpha = r \cdot \beta$, la condición se reduce a:

$$\frac{\text{Trazo}(H)^2}{\text{Det}(H)} < \frac{(r+1)^2}{r}$$

Luego de varios experimentos, los autores proponen un umbral de $r = 10$. Véase que conforme aumenta la relación r entre ambos valores propios también lo hace la relación entre el cuadrado de la traza de la matriz Hessiana y su determinante.

1.3.1.3. Asignación de orientación.

Mediante la asignación de una orientación a cada punto de la imagen basada en características locales de la misma, los puntos clave pueden ser descriptos relativos a estas orientaciones y de esta manera lograr características invariantes a las rotaciones. Para cada punto clave obtenido $D(x_0, y_0, \sigma_0)$, se busca su imagen borrosa correspondiente en el espacio escala $L(x, y, \sigma_0)$ y se determina el módulo de su gradiente $m(x, y)$ y la fase del mismo $\theta(x, y)$ utilizando diferencias entre píxeles:

$$\begin{aligned} m(x, y) &= \sqrt{(\Delta L_x)^2 + (\Delta L_y)^2} \\ m(x, y) &= \sqrt{[L(x+1, y) - L(x-1, y)]^2 + [L(x, y+1) - L(x, y-1)]^2} \\ \theta(x, y) &= \tan^{-1} \left(\frac{\Delta L_y}{\Delta L_x} \right) \\ \theta(x, y) &= \tan^{-1} \left(\frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)} \right) \end{aligned}$$

Para determinar de una forma fiel la orientación de cada punto clave, ésta es determinada tomando en cuenta las direcciones de todos los puntos de la imagen dentro de cierto entorno del mismo. Se genera entonces un histograma de direcciones con valores que varían de a 10 grados, ponderado por el módulo del gradiente y una ventana Gaussiana circular centrada en el punto clave, de desviación estándar igual a 1.5 veces el valor del nivel del en cuestión (valor de σ en la imagen diferencia de Gaussianas). Cada máximo en el histograma corresponde a la dirección dominante en el gradiente local y será la asignada al punto clave. Si existen en el histograma otros máximos secundarios de valor mayor o igual al 80 % del máximo principal, estos serán utilizados para generar nuevos puntos clave con esa dirección. Sólo al 15 % de los puntos clave se les asigna más de una dirección.

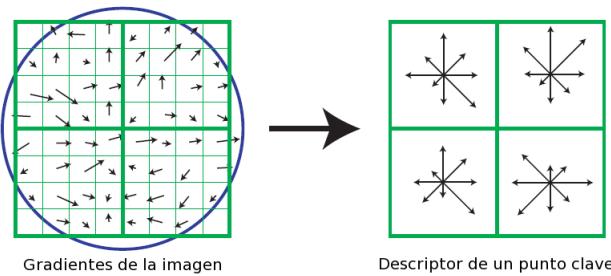


Figura 1.5: Izq.: La ventana Gaussiana pondera los valores de módulo y fase en la vecindad de los puntos de interés. Der.: los histogramas con 8 direcciones posibles realizados para cada subregión. Figura tomada de [?].

1.3.1.4. Descriptor de puntos clave.

Hasta el momento, se le ha asignado a cada punto clave una escala, una locación y una orientación. El siguiente paso es determinar para cada punto clave un descriptor relativamente invariante a cambios de iluminación y afinidades, basado en el entorno del mismo.

Una vez determinadas la magnitud y fase del gradiente en torno a un punto clave, una ventana Gaussiana centrada en este pondera los valores de módulo y fase de 4×4 subregiones cuadradas en la vecindad del mismo, cada una formada por 16 píxeles. Nuevamente se genera para cada subregión un histograma de 8 direcciones distintas. Se obtiene finalmente para cada punto clave un descriptor de $4 \times 4 \times 8 = 128$ valores.

En la Figura 1.5 se ve cómo se computan los descriptores para cada punto clave. En el ejemplo se utilizan únicamente $2 \times 2 = 4$ subregiones en vez de $4 \times 4 = 16$.

1.4. Resumen

La alternativa de utilizar códigos QR para identificar regiones del museo es una alternativa simple y que aprovecha la creciente popularidad de los mismos. Es una solución muy funcional que permite fácil y rápidamente al usuario ubicarse dentro del museo. Existe una gran variedad de librerías que permiten resolver este problema en distintos lenguajes. En particular ZBar provee de herramientas interesantes y sencillas de incorporar a aplicaciones.

Por su parte el algoritmo SIFT es un algoritmo muy rápido que resuelve el problema de la identificación de manera muy efectiva. Existe a su vez bastante documentación sobre el mismo así como código disponible en C lo que hace también de este algoritmo algo fácil de incorporar a una aplicación.

[?].