

Incrustación de imágenes en códigos de barras bidimensionales de rápida respuesta QR-codes

Embedding images in two-dimensional bar codes quick response QR-codes

Ofelia Villarrea*

Rodolfo Villamizar**

Fecha de recepción: 22 de mayo de 2013

Fecha de aceptación: 15 de junio de 2013

Resumen

Los QR-codes son códigos de barras bidimensionales caracterizados por tener una alta velocidad en su decodificación, gran capacidad de almacenamiento de información y codificación de conjuntos de caracteres especiales. El interés en estos códigos de barras ha resurgido recientemente debido a la posibilidad que tienen los usuarios de crear y decodificar la información contenida en un QR-code mediante el uso de teléfonos inteligentes. Debido a esto, en la actualidad, además de los usos tradicionales en inventario e identificación, los QR-codes son utilizados como alternativa publicitaria para mejorar la experiencia del usuario.

Una gran deficiencia de los QR-codes es que estos no proporcionan información visual sobre la clase de información codificada dentro de ellos. En este trabajo se presenta una nueva técnica para incrustar imágenes en esta clase de códigos de barras. La técnica toma ventaja del mecanismo de decodificación basado en la interpretación binaria de la imagen del QR-code

* Estudiante de Maestría en Ingeniería Electrónica Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga Santander, Colombia. Correo electrónico: ofevilla@udel.edu

** Doctor en Tecnologías de la Información. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga Santander, Colombia. Correo electrónico: rovillam@uis.edu.co

obtenida en escala de grises. Específicamente la técnica modifica previamente los valores de luminancia de la imagen a incrustar con base en el valor de luminancia promedio censado en la decodificación.

En este trabajo además se implementa una máscara con distribución basada en ruido azul para suavizar los cambios entre los módulos blanco y negro del QR-code y la imagen a incrustar. Finalmente se presentan los resultados obtenidos con la técnica propuesta, con los cuales se alcanza un 100% de decodificación de las imágenes.

Palabras clave: QR-codes, ruido azul, librería zxing.

Abstract

The QR-codes are two dimensional bar codes characterized by a high speed in decoding, high-capacity storage and coding of special character sets. The interest in these bar codes has resurfaced recently due to the possibility for users to create and decode the information contained in a QR-code using smartphones. Because of this, at present, besides the traditional uses inventory and identification, the QR-codes are used as an alternative to improve the advertising user experience.

A major deficiency of the QR-codes is that they do not provide visual information about the kind of information encoded within them. In this paper we present a new technique to embed images in this kind of barcodes. The technique takes advantage of the mechanism-based decoding the binary interpretation of the image of QR-code obtained grayscale. Specifically modified technique previously luminance values of the image based on embedding the average luminance value counted in decoding.

This paper also implemented a mask with blue noise based distribution to smooth changes between black and white modules QR-code and embed image. Finally, we present the results obtained with the proposed technique, in which 100% is reached decoding images.

Key words: QR-codes, blue noise, bookstore zxing.

1. Introducción

Los códigos de rápida respuesta, en adelante QR-codes (Quick Response Codes), han sido ampliamente usados en la industria para control de inventario, identificación, fabricación y transporte. Estos códigos fueron desarrollados en 1994 por la Corporación Denso, una subsidiaria de Toyota, para el rastreo e inventario de piezas de automóvil [2].

Actualmente estos códigos de barra bidimensionales son ampliamente usados en publicidad y mercadeo para aumentar la visibilidad de un producto o servicio, proveer información detallada o mejorar la experiencia del usuario. Su popularidad se debe en gran parte a la proliferación de teléfonos inteligentes "Smarthphones", capaces de decodificar rápidamente la información, acceder a páginas web o descargar contenido en línea. Los QR-codes pueden ser considerados como la evolución de otros códigos bi-dimensionales, como son el PDF147, el cual permite una alta capacidad de almacenamiento de información y el código MAXI, quien maneja una alta velocidad en la decodificación. Además de estas características de almacenamiento y velocidad, otra particularidad que ha contribuido a la popularización de los QR-codes es la eficiencia en la codificación de caracteres japoneses conocidos, como caracteres Kanji o Kana [2]. Esta cualidad ha contribuido a la adopción de QR-codes en la industria japonesa bajo el estándar JIS (Japanese Industrial Standards) - XO510, en 1999. Eventualmente, en el año 2000, llegó a ser estándar internacional ISO/IEC18004 [3].

Entre las principales ventajas que ofrecen los QR-codes se encuentran su fácil uso, alta capacidad de almacenamiento y velocidad en la decodificación. En los QR-codes la velocidad en la decodificación es alcanzada usando patrones especiales para la localización y

alineamiento del código, estos patrones permiten detectar de forma rápida la orientación correcta de la imagen y las distorsiones geométricas debidas a superficies irregulares. Los patrones de localización se encuentran ubicados en tres de las cuatro esquinas del QR-code. Estos y otros patrones usados para alineamiento son contemplados en el estándar y descritos en secciones posteriores.

Los QR-codes no ofrecen identificación visual del contenido, área o patrocinador al que pertenecen, por ende es imposible para un usuario discriminar si la información ofrecida en el QR-code es de su interés. En consecuencia, en esta área se han desarrollado numerosos esfuerzos para mejorar la apariencia de los QR-codes [4] [1]. La mayoría de ellos están enfocados en la eliminación de algunos de los módulos de información del QR-code para localizar imágenes representativas, como se puede apreciar en la figura 1 a) [5]. Esta técnica toma ventaja de la información redundante que se maneja en el símbolo para garantizar la decodificación a pesar de pérdidas en la información. Sin embargo la robustez del código es sacrificada con el uso de esta técnica, por lo cual no es garantizable la decodificación de la información.

En la figura 1 b), se puede apreciar un enfoque diferente basado en la manipulación de los valores de luminancia para cada módulo del código. Como puede ser observado el valor del módulo en el QR-code se preserva al mantener una pequeña porción en el centro del módulo, blanca o negra, dependiendo del valor asignado en el QR-code; el resto de pixeles en el módulo conserva el color de la imagen. Esta técnica ofrece ciertas ventajas en cuanto a robustez, dado que no utiliza la información redundante para mejorar

la apariencia del código, sin embargo como se puede apreciar visualmente no es agradable y muchos detalles de la imagen son indistinguibles.

Figura 1. QR-codes con imágenes incrustadas.

En la figura a) una pequeña área de módulos blanco y negro se ha eliminado para incrustarla imagen del logo.
En la figura b) la imagen es obtenida usando el algoritmo en [1]



Fuente: elaboración propia.

En este trabajo se introduce una técnica para incrustar una imagen en un QR-code dado mediante la manipulación de los valores de luminancia de la imagen, y el uso de mascarar que obedecen a una distribución de ruido azul. La técnica está basada en las restricciones de luminancia establecidas en la etapa de binarización durante el proceso de decodificación.

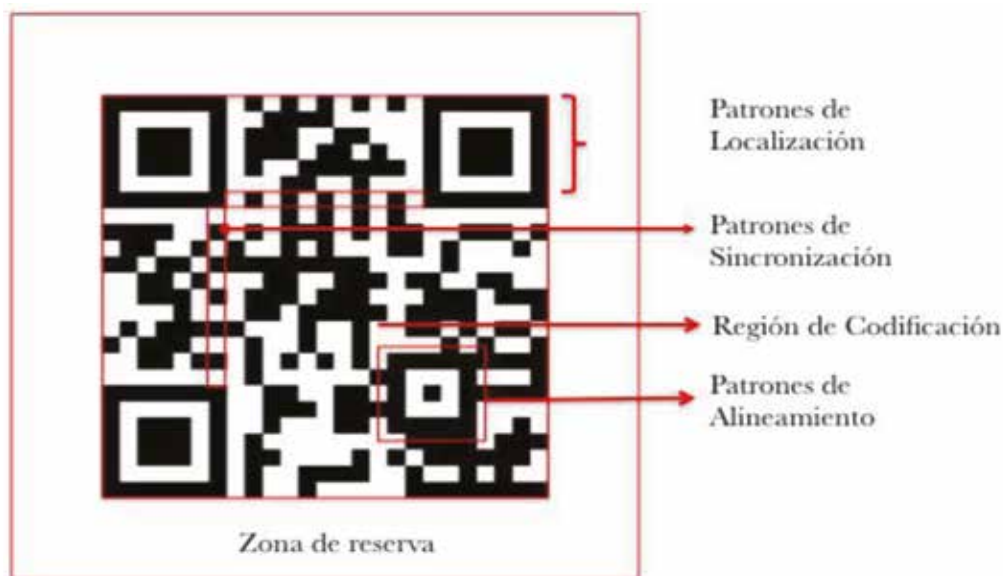
En la siguiente sección se describe la estructura y principales características de los QR-codes, la sección 3 presenta el proceso de binarización y decodificación. La sección 4 presenta el procedimiento para realizar la incrustación de la imagen en el QR-code. En las secciones restantes se presentan los resultados obtenidos con el trabajo propuesto.

2. Características de los QR-codes

La estructura de un QR-code puede ser dividida en varias secciones, como se muestra en la figura 2. Una primera sección contiene los patrones de funcionamiento como son los patrones de localización, alineamiento y sincronización; la segunda sección contiene la información a codificar, por lo cual recibe el nombre de región de codificación; una última región, llamada zona de reserva, tiene como propósito independizar el código de los alrededores de manera que favorezca la detección de patrones de localización. La información es codificada en módulos blancos y negros donde el número de píxeles por mó-

dulo depende del ancho del mismo. Los QR-codes manejan diferentes tamaños, el estándar establece cuarenta versiones diferentes [3].

Figure 2. Características de los QR-codes



Fuente: elaboración propia.

2.1. Patrones de funcionamiento y región de codificación

Los patrones de funcionamiento son usados para la delimitación de la región de codificación, también son necesarios para ubicar, rotar, y alinear el QR-code. La precisión en la identificación de estos patrones es fundamental para la decodificación del código y se dividen principalmente en tres, estos son, patrones de localización, alineamiento y sincronización.

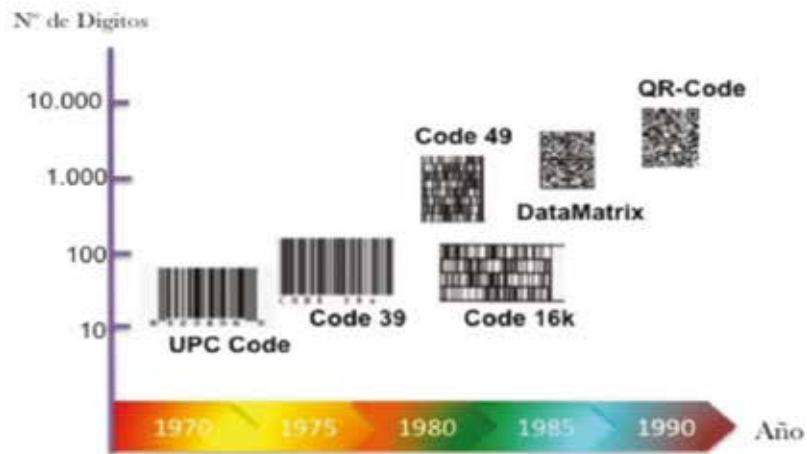
Los patrones de localización son fácilmente ubicables y corresponden a tres cuadrados grandes localizados en tres de las cuatro esquinas del código. Los patrones de sincronización consisten en módulos alternados blancos y negros ubicados a lo largo de una columna y una fila, como se muestra en la

figura 2. Finalmente los patrones de alineamiento se encuentran ubicados a lo largo de la región de codificación y son identificados como unos cuadrados concéntricos, la cantidad de estos patrones varía según el tamaño y versión del símbolo. Una vez ubicados los patrones de funcionamiento en el QR-code, el espacio restante corresponde a la región de codificación. Esta región es usada para almacenar los datos, la información redundante para corrección de errores y la información correspondiente a la versión y formatos del QR-code. Durante la codificación los datos son convertidos a un conjunto de bits de acuerdo al estándar. Este string es fragmentado en palabras de código de 8 bits (módulos blancos y negros) y luego los módulos son acomodados en la región de codificación de forma ordenada.

En este orden es posible que se presente una réplica de alguno de los patrones de funcionamiento, por tanto como etapa final una serie de máscaras son aplicadas para alterar el orden de los módulos en el QR-code. Un total de ocho máscaras es definido por el estándar, donde cada máscara es aplicada por medio de una operación XOR a la región de codificación. La matriz resultante es evalua-

da basada en el uso de penalidad para aquellos patrones no deseados, así la máscara con menor resultado en la penalización es seleccionada para ser aplicada al QR-code. Es necesario destacar que la máscara se aplica solo a los datos e información redundante localizados en la región de codificación, evadiendo los patrones de funcionamiento.

Figura 3. Capacidad de almacenamiento de códigos de barras en el tiempo



Fuente: elaboración propia.

2.2. Capacidad de almacenamiento, versión y corrección de errores

Los QR-codes han sido diseñados para almacenar una cantidad considerable de información. En comparación con otros códigos, como se muestra en la figura 3, los QR-codes alcanzan capacidades de miles de dígitos, sin embargo esta capacidad también depende de la versión, el nivel de corrección de errores y el tipo de caracteres.

Particularmente para datos de tipo numérico un QR-code puede almacenar hasta 7089 caracteres, para datos de tipo alfanumérico hasta 4296, datos tipo byte hasta 2953 y has-

ta 1817 caracteres japoneses Kanji o Kana. Ante la presencia de ruido o daño parcial del símbolo, los QR-codes proveen corrección de errores mediante el uso de códigos Reed-Solomon, incrementando la robustez en la etapa de decodificación. La corrección de errores está dada en cuatro niveles a saber, L, M, Q y H, que corresponden al 7%, 15%, 20% y 30% de la corrección de módulos respectivamente. De esta manera la cantidad de información redundante añadida al código es proporcional al nivel de corrección de errores seleccionado.

Los QR-codes están disponibles en cuarenta versiones diferentes, cada versión deter-

mina el tamaño del símbolo, de esta forma, por ejemplo, la versión uno corresponde a un QR-code de tamaño 21 X 21 módulos y la versión cuarenta corresponde a un QR-code de tamaño 177 X 177 módulos.

3. Decodificación

Una vez adquirida la imagen del QR-code con un dispositivo móvil, se realiza la binarización de la imagen. Luego de esta etapa de binarización el proceso a seguir durante la codificación se repite, por tanto, las operaciones subsecuentes en la decodificación incluyen alineamiento, detección y rectificación de la orientación del símbolo. La binarización por tanto es una etapa crucial en la decodificación, debido a que una mala interpretación de los datos conlleva a que la información no pueda ser decodificada. Esta tarea es particularmente compleja cuando hay variaciones en las condiciones de iluminación o exceso de ruido y el estándar sugiere el uso de umbralización global, pero esta etapa es también realizada aplicando otros métodos más eficientes. El estándar plantea umbralización global a partir del nivel medio de gris, como se define en la ecuación (1).

$$t = \frac{\max(Y) + \min(Y)}{2} \quad (1)$$

Donde Y es la luminancia de la imagen. El método aplicado por Otsu en [6] es uno de los más efectivos cuando el histograma de las imágenes es aproximadamente bimodal. Este método ha sido implementado con éxito, anteriormente en la binarización de QR-code. Sin embargo, en situaciones donde los niveles de iluminación o ruido son muy altos, se plantea el uso de métodos de umbralización local en los cuales los umbrales son calculados y se basan en una ventana que

se desplaza a través de la imagen [7]. Varias funciones han sido propuestas para la implementación de este método como son la mediana, la media o medios tonos.

$$t_{i,j} = \text{mediana}(Y_{B_{i,j}}), \quad (2)$$

$$t_{i,j} = \text{media}(Y_{B_{i,j}}), \quad (3)$$

$$t_{i,j} = \frac{\max(Y_{B_{i,j}}) + \min(Y_{B_{i,j}})}{2}, \quad (4)$$

Donde $Y_{B_{i,j}}$ es una ventana centrada alrededor del pixel $[i; j]$. Este trabajo se ha basado en el uso del método de binarización usado en la librería zxing [8]. Esta librería ha sido escogida debido a su amplio uso y disponibilidad como código abierto a partir de la utilización de histogramas de forma local para el cálculo de los umbrales. La imagen es dividida en bloques de 8 X 8 pixeles, entonces el valor medio de luminancia en el bloque es calculado como:

$$\mu_{m,n} = \frac{1}{64} \sum_{(i,j) \in B_{m,n}} Y_{i,j} \quad (5)$$

Una vez calculado el valor medio del bloque, el umbral para cada pixel es obtenido como en (5). Una expresión general para la umbralización en un pixel central de la imagen está dada por.

$$t_{i,j} = \frac{1}{25 \times 64} \sum_{p=m-2}^{q=m+2} \sum_{q=n-2}^{q=n+2} \sum_{(k,l) \in B_{p,q}} Y[k,l], \text{ for } (i,j) \in B_{m,n} \quad (6)$$

De esta manera la binarización de la imagen es obtenida umbralizando la luminancia de la imagen usando $t_{i,j}$

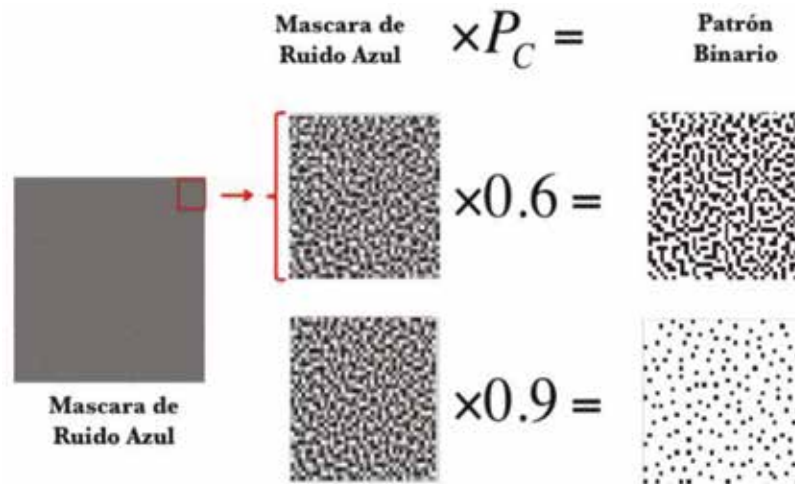
$$Q[i,j] = \begin{cases} 1 & \text{if } Y[i,j] > t_{i,j} \\ 0 & \text{if } Y[i,j] < t_{i,j} \end{cases} \quad (7)$$

4. Incrustación de la imagen en un QR-code

Uno de los principales métodos para introducir logos o imágenes en un QR-code está basado en la eliminación de cierto porcenta-

je de módulos de información sustituyendo este espacio con la imagen o logo deseados. Este enfoque está basado en la capacidad de corrección de errores que usa el QR-code, lo que reduce la resistencia al ruido, deterioro o cambios en la luminancia.

Figura 4. Máscara con distribución de ruido azul. La proporción de píxeles a ser modificados P_c es distribuida siguiendo el patrón dispuesto por la máscara



Fuente: elaboración propia.

En este trabajo se propone una técnica para incrustar una imagen en un QR-code manteniendo la capacidad de almacenamiento de información original, así como la información redundante del símbolo. El proceso se realiza mediante la manipulación de la luminancia en los píxeles de la imagen según el valor del módulo del QR-code en la posición dada. Conociendo el funcionamiento del algoritmo de binarización en el decodificador, se puede controlar los valores de umbrales necesarios para una correcta decodificación; la transición entre la imagen y la información en el QR-code es realizada mediante un pequeño conjunto de parámetros.

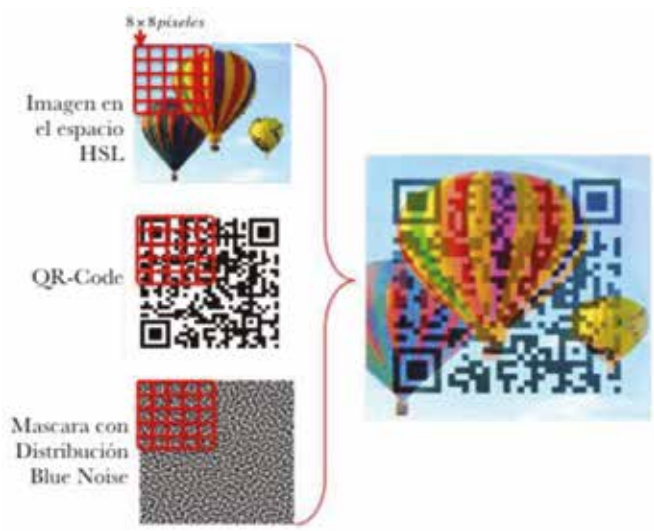
La técnica se realiza a continuación. El primer paso es la selección de un subconjunto de píxeles en la imagen para modificar su luminancia. Este subconjunto debe seguir una distribución tipo ruido azul mejor conocida como *blue noise* [9]. Para ello previamente se crea la máscara con la proporción de píxeles que serán modificados como se muestra en (4). Esta distribución garantiza que el impacto visual sea mínimo una vez realizada la modificación, es decir que muchos de los detalles de la imagen pueden ser preservados, haciendo la imagen visualmente placentera, como se muestra en la figura 5. Considérese los píxeles contenidos en un módulo del QR-

code. Cada módulo consiste de un cuadrado de $N \times N$ pixeles. La proporción de pixeles a ser modificadas en el módulo está dada por.

$$P_c = \frac{M_c}{N^2} \quad (8)$$

Donde M_c es el set de pixeles a ser modificados en cada modulo denominado C .

Figura 5. Selección de pixeles y comparación con la máscara para el cambio de luminancia



Fuente: elaboración propia.

Luego de seleccionar el subconjunto de pixeles los valores de luminancia son cambiados, manteniendo el valor de luminancia original. La información de color de cada pixel debe ser preservada, por lo cual se ha utilizado el espacio de color HSL (*Hue, saturation, luminance*). Como primera medida el pixel debe ser convertido del espacio RGB al espacio HSL, $[H; S; L] = T [R; G; B]$. Una vez el pixel esté en HSL, se modifica el componente de luminancia manteniendo fijos los valores de saturación y sombra hasta alcanzar el valor de luminancia deseado. La definición de luminancia usada en este trabajo está dada por

$$Y = 0.2989R + 0.5870G + 0.1140B. \quad (9)$$

Al fijar los valores de sombra y saturación, se puede escribir R, G, B como una función de L dada por:

$$[R(L), G(L), B(L)] = T^{-1}(H, S, L) \quad (10)$$

Se tiene que,

$$Y(L) = f(L) = w^T T^{-1}(H, S, L), \quad (11)$$

donde

$$w = [0.29890.58700.1140]^T$$

$$L = \frac{\min(R, G, B) + \max(R, G, B)}{2}$$

y f abarca el rango completo de $Y \in [0, 1]$.

Finalmente el valor de luminancia en el pixel $Y [i, j]$ es cambiado de acuerdo a la siguiente regla,

$$Y^{out}[i, j] = \begin{cases} 1 - \alpha & \text{if } (i, j) \in \mathcal{C} \\ & Q[i, j] = 1 \\ \alpha & \text{if } (i, j) \in \mathcal{C} \\ & Q[i, j] = 0 \\ Y[i, j] & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (12)$$

donde α es el nivel de luminancia impuesto a los pixeles pertenecientes a la zona de interés, usada para preservar el valor de luminancia original.

Figura 6. Experimento 1 usando imágenes tipo logo. QR-codes obtenidos mediante el método propuesto



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Experimento 2. QR-codes obtenidos mediante el método propuesto



Fuente: elaboración propia.

5. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos al aplicar la técnica en la sección 4. En el primer experimento se utilizaron las imágenes de logos conocidos, como son el logo de facebook y coca-cola, como se muestra en la figura 6. En el segundo experimento se utilizaron imágenes con muchos más detalles, como se observa en la figura 7. Visualmente la imagen es fácilmente identificable, la transición entre el QR-code y la imagen es suavemente desarrollada y muchos de los detalles son conservados, mientras que en los logos la imagen todavía puede alcanzar una mejor resolución. Estos resultados se comprobaron utilizando el barco de scan app de la librería zxing en un teléfono inteligente marca Samsung versión galaxy. Los resultados en este experimento alcanzaron una tasa de detección y decodificación del 100%.

En la figura 8 se muestran los resultados obtenidos al variar el valor de luminancia objetivo, como se puede observar un valor de α

elevado hace que la imagen se parezca más al original mientras que un valor de α pequeño intensifica el valor de luminancia haciendo que el resultado se parezca más al original.

Figura 8. El valor de luminancia ha sido modificado para resaltar la diferencia en la percepción visual de la imagen



Fuente: elaboración propia.

6. Conclusiones

El trabajo propuesto proporciona un nuevo enfoque para incrustar una imagen dentro de un código de barras bidimensional, QR-codes. La técnica propuesta mejora la experiencia del usuario sin necesidad de modificar el algoritmo de decodificación, como se observa el QR-code éste llega a ser atractivo visualmente, el usuario fácilmente diferencia la procedencia o tipo de información contenida en el código y al mismo tiempo se mantiene la capacidad de almacenamiento y decodificación del QR-code original. Por otro lado, este enfoque maximiza la funcionalidad

del sistema, ya que ninguna modificación adicional al codificador o decodificador debe ser realizada, ya que para incrustar la imagen se utiliza un QR-code dado.

7. Referencias

- [1] \Visualead company," <http://www.visualead.com/>.
- [2] Tan Jin Soon, \Qr Code," Synthesis Journal, Information Technology and Standards Committee Singapour, vol. 2008, no. 3, pp. 59 { 78, 2008.
- [3] ISO, \Information technology ñ Automatic identification and data capture

- techniques ñ Bar code symbology ñ QR Code,” ISO/IEC 18004:2000, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [4] D. Samretwit and T. Wakahara, \Measurement of reading characteristics of multiplexed image in qr code,” in Intelligent Networking and Collaborative Systems (INCoS), 2011 Third International Conference on, 2011, pp. 552{557.
- [5] Russ Cox, \Qart codes,” April 2012.
- [6] Nobuyuki Otsu, \A threshold selection method from gray-level histograms, “Automatica”, vol. 11, no. 285-296, pp. 23{27, 1975.
- [7] Jaakko Sauvola and Matti Pietikäinen, \Adaptive document image binarization, Pattern Recognition, vol. 33, no. 2, pp. 225{236, 2000.
- [8] Sean Owen, \zxing, multi-format 1d/2d barcode image processing library with clients for android, java and c+,” 2012.
- [9] Daniel L. Lau and Gonzalo Arce, Modern Digital Halftoning, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA, 2001.