

Álgebra y operadores morfológicos en el procesamiento digital de la imagen aplicados a la identificación de celdas disponibles en un parqueadero

*David Stephen Fernández Mc Cann**

Resumen

Este sistema está orientado a utilizar el procesamiento digital de la señal, aplicado a la imagen, para dar solución a un problema específico como es la identificación de las celdas disponibles dentro de un parqueadero. En este proyecto se investigaron diferentes técnicas del procesamiento de la imagen, que puedan utilizarse al determinar la ocupación de celdas y para evaluar aquella que permita la mayor confiabilidad y desempeño.

----- *Palabras clave:* procesamiento de imágenes, operadores morfológicos, optimización, confiabilidad.

Abstract

This system is oriented to the use of digital signal processing applied to images, looking for a solution to a specific problem as the identification of the available cells inside a car park. In this project different techniques of image processing that can be used in determining the occupation of cells in car parks are investigated and we evaluate which one produces the best performance and reliability.

----- *Key words:* image processing, morphologic operators, optimization, confiability.

* Profesor Departamento de Ingeniería Electrónica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. dfernan@udea.edu.co.

1. Introducción

Para la administración electrónica de parqueaderos es posible presentar varias alternativas que permiten tener control de su uso. Pueden utilizarse sistemas que van desde el conteo automático de la entrada y la salida de vehículos, hasta el sensado exhaustivo de cada celda disponible, para indicar la disponibilidad del parqueadero. En este artículo se muestra el uso de técnicas del procesamiento digital de la imagen para ofrecer alternativas en la detección de las celdas disponibles en un parqueadero.

2. Propósito

El procesamiento digital de señales es uno de los frentes de trabajo de mayor demanda en el área de las técnicas digitales, debido a que se convierte en una de las herramientas de soporte para distintas áreas de investigación, como la bioingeniería, las comunicaciones y el control de procesos.

El sistema del cual trata este artículo está orientado a utilizar el procesamiento digital de la señal aplicado a la imagen, buscando dar solución a un problema específico de nuestro entorno, como es la identificación de las celdas disponibles en un parqueadero. Para ello, se investigan diferentes técnicas del procesamiento de la imagen, que puedan utilizarse al determinar la ocupación de las celdas, con el fin de evaluar aquélla que permita la mayor confiabilidad y el mejor desempeño, en términos de velocidad de procesamiento, cuando es implementada en un computador personal. Finalmente, se desarrolla una aplicación en software, la cual en todo momento informa acerca de la ocupación de las celdas de un parqueadero.

3. Metodología

Se inicia con una investigación teórica de las técnicas de procesamiento digital de imágenes, y se seleccionan las que se consideran más apropiadas para dar solución al problema planteado. Luego se realiza el montaje de la infraestructura necesaria, que permita evaluar dichas técnicas en un parqueadero prototipo. Con ello se determina la

mejor alternativa en términos de confiabilidad y desempeño. Después, los resultados se emplean en la detección de las celdas disponibles en un parqueadero convencional, para evaluar el desempeño. Finalmente, se desarrolla un software que determina las celdas disponibles en el parqueadero.

4. Infraestructura

Los equipos utilizados para la etapa de investigación de las diferentes técnicas en el procesamiento de la imagen del parqueadero fueron:

- Cámara de video a color CCD con salida en banda base de 1/3", de resolución 512 x 300 y f2,0 a 1 LUX.
- Cámara de video en blanco y negro CCD con salida en banda base de 1/3", de resolución 512 x 492 y f4,3 a 0,3 LUX.
- Computador tipo PC Pentium II a 266 Mhz.
- Dispositivo capturador de video Snappy 3.0, 1.500 x 1.125 de resolución máxima.
- Maqueta del parqueadero.

En cuanto al trabajo de campo, se realizó mediante:

- Fotografías de varios parqueaderos.
- Filmación de imágenes en un parqueadero convencional.

El software empleado:

- Sistema operativo: Windows 95.
- Software para el desarrollo de la aplicación: Borland C++ 5.0.
- Software para captura de la imagen: Snappy 3.0.
- Formato de imagen empleado: BMP 320 x 200.

5. Herramienta de software

5.1 PDIWIN: procesador digital de imágenes para Windows

El desarrollo del proyecto, en la parte de ejecución de software, se realizó bajo el programa PDIWIN. El programa fue desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia, en el departa-

tamiento de comunicaciones. Este programa consiste en un conjunto de funciones, que pueden ejecutarse individualmente sobre una imagen en diferentes formatos. A su vez, permite integrar, a manera de nueva rutina, el compendio de las funciones empleadas en un procedimiento, como es el de la detección de parqueaderos disponibles, del cual da cuenta este artículo.

5.2 Usos específicos dentro del proyecto

Se creó la función “detecta” dentro de los objetos del PDIWIN. Comparte varias funciones miembro como sumar imágenes y aplicar filtros, y otras rutinas que hacen parte de otros objetos básicos de la aplicación mencionada.

En la figura 1 se puede ver un esquema de la estructura para la inclusión de nuevas rutinas en el programa PDIWIN.

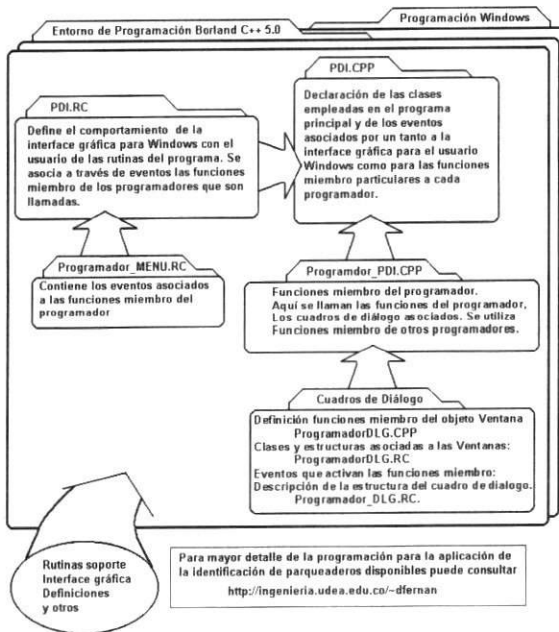


Figura 1 Entorno de programación del PDIWIN

6.1 Representación de la imagen

La imagen digital se representa por medio de elementos básicos llamados pixeles. Aquella corresponde a un arreglo bidimensional de pixeles. Cada

pixel es una unidad lumínica y la imagen completa es un conjunto $N \times M$ de pixeles. Supóngase que se tienen disponibles G tonos de grises, desde el blanco, al cual se le puede asociar el cero, hasta el negro, al cual a su vez se le asocia el número G . A manera de ejemplo puede verse la figura 2 para visualizar esta representación. Para el análisis se puede pensar que una imagen digital es una matriz de $N \times M$ celdas, en cada una de las cuales hay un nivel de gris, al cual se le asocia un número (véase figura 3). Los niveles de gris utilizados en la aplicación son 255.

$G(X,Y)$ representa los valores de cada pixel en la imagen, donde $0 \leq G(X,Y) \leq 255$ y 255 es el máximo nivel de representación de gris.

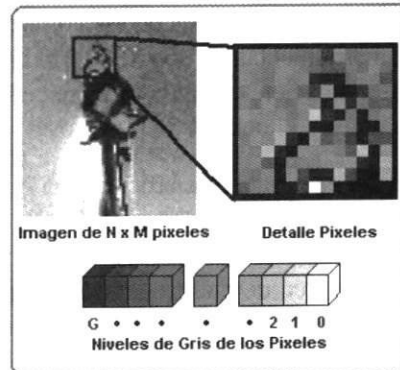


Figura 2. Pixeles en una imagen de grises

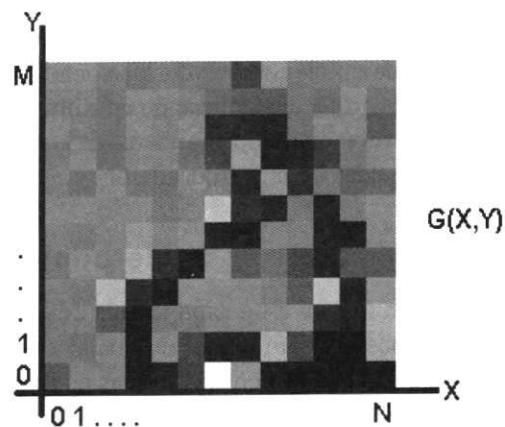


Figura 3 La imagen hace referencia a las coordenadas X, Y para todos los pixeles que la forman

6.2 Operaciones sobre la imagen

Para la realización de la aplicación se utilizan varias operaciones sobre la imagen que se describen a continuación:

Umbral. Para una imagen binaria, se define como todos aquellos píxeles que tienen un valor entre 0 y el valor de umbral (máximo 255). A éste se le puede llamar G_a .

$$U(X, Y) = \begin{cases} G_a & \text{para } G_a \leq K \\ 0 & \text{para } G_a > K \end{cases} \quad (1)$$

Donde K es el valor para umbralar de una imagen y $U(X, Y)$ es la imagen umbralizada resultante.

Histograma. El histograma se define como, para cada nivel de gris, el número de píxeles que poseen el nivel indicado.

$$h_i = \frac{n_i}{NM}, \text{ para } 0 \leq i \leq G_{max} \quad (2)$$

Donde n_i es el número de píxeles del nivel de gris i , NM es el número total de píxeles dentro de la imagen y G_{max} es el valor máximo del nivel de gris de la imagen. En la figura 4 puede verse el histograma de la maqueta del parqueadero utilizada en este trabajo.

Compensar el histograma. La compensación del histograma consiste en repartir la densidad

de grises de forma uniforme en ésta y revertirlo sobre la imagen. Esta técnica se utiliza para mejorar la brillantez y el contraste de la imagen. El objetivo consiste en distribuir los niveles de gris en la imagen, de tal forma que la frecuencia de ocurrencia de un nivel de píxel sea igual para todos los contenidos en aquélla. Esto se puede ver gráficamente en la figura 5.

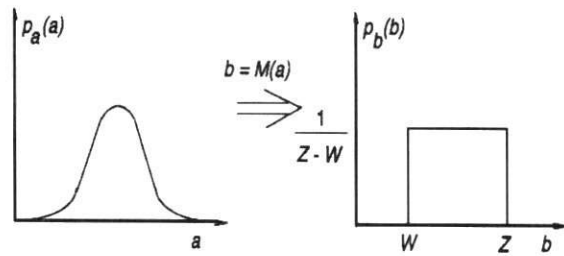


Figura 5 Distribución de píxeles para una imagen antes y después de la ecualización

Para la PDF (función densidad de probabilidad) de la imagen, que tiene la distribución p_a de la figura 5, se quiere uniformar los valores de tal forma que p_b sea uniforme. Expresado en otra forma, se busca que el área bajo la curva sea la misma para cualquier intervalo de una distribución uniforme:

$$p_a(a)da = p_b(b)db \quad (3)$$

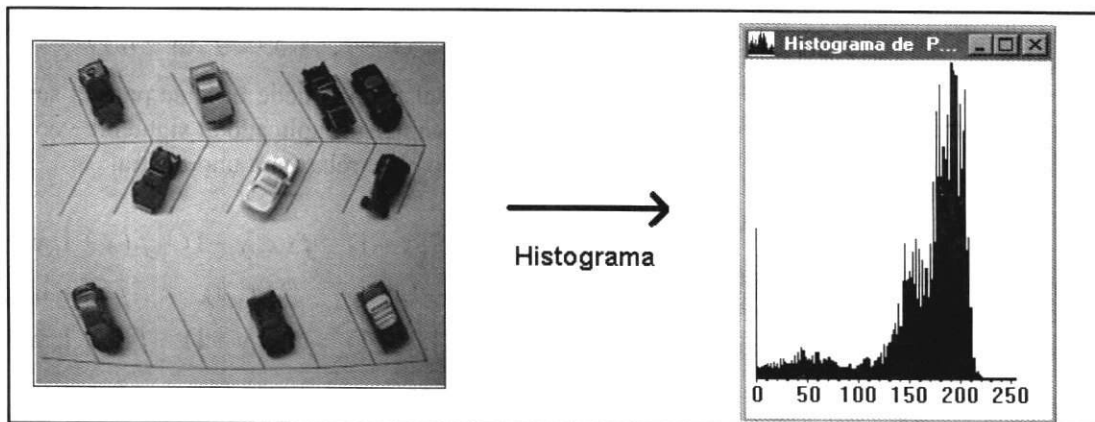


Figura 4 Histograma de la imagen del parqueadero

Calculando en ambos lados resulta:

$$p_a(a)da = p_b(b)db \quad (4)$$

Resolviendo la ecuación anterior con los límites utilizados para las imágenes en escala de grises, en las cuales se cumple que $0 \leq Z \leq G_m ax$, con el valor de $W = 0$, y cambiando la integral por sumatoria se tiene que:

$$b_k = M(a_k) = G_m ax \sum_{i=0}^k k_i \text{ para } 0 \leq k \leq G_m ax \quad (5)$$

Donde b_k es el valor de pixel que va a ser reemplazado por el nuevo "mapeo" $M(a_k)$, y para valores de histograma h_i mostrados en la ecuación 2.

Álgebra. Las operaciones fundamentales de la aritmética y el álgebra booleana se emplean en este proyecto. Enumerándolas, son: *suma, resta, multiplicación, and or, xor e inversión*. La suma es pixel a pixel, en valores absolutos. Si el valor es mayor que el máximo, se toma el valor resultante de restar $G_m ax$ de la suma.

$$S(X,Y) = A(X,Y) + B(X,Y) \quad (6)$$

En la resta, si el valor es negativo, pueden usarse varias equivalencias para hacer que el valor de respuesta sea positivo. Una de éstas puede consistir en realizar la resta a módulo o sumarle uniformemente un valor a todos los pixeles resultantes, normalizado a $G_m ax$ para obtener valores positivos. La resta es uniforme en el conjunto de pixeles. De ésta se puede tomar el valor negativo de la imagen, restándola de 255, pixel a pixel.

$$R(X,Y) = A(X,Y) - B(X,Y) \quad (7)$$

Para la imagen resultante de operar una o varias imágenes con las funciones booleanas, las operaciones se realizan pixel a pixel, nivel de gris a nivel de gris.

$$AND(X,Y) = A(X,Y) AND B(X,Y) \quad (8)$$

$$OR(X,Y) = A(X,Y) OR B(X,Y) \quad (9)$$

$$XOR(X,Y) = A(X,Y) XOR B(X,Y) \quad (10)$$

En las anteriores ecuaciones, la expresión de la izquierda corresponde al resultado de efectuar la operación indicada sobre las imágenes representadas, respectivamente, por $A(X, Y)$ y $B(X, Y)$.

Filtros. Los filtros empleados son los detectores de borde por gradientes, como el *Sobel*, y los morfológicos, como, el *Open* realizado a partir de los operadores *Erode* y *Dilate*. Más adelante, se muestra como mediante el filtro gradiente se resaltan las áreas ocupadas en el parqueadero, y mediante los filtros morfológicos es posible determinar qué espacios están libres.

Gradientes. Su objetivo es determinar los cambios de nivel en la imagen y mostrar su comportamiento. En general, hacen uso de la siguiente expresión:

$$\nabla f(x, y) = \begin{bmatrix} f_x(x, y) \\ f_y(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_x(x, y)}{\partial x} \\ \frac{\partial f_y(x, y)}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Donde la variación en el sentido de x puede expresarse como:

$$\Delta f_x(x, y) = f_x(x, y) - f_x(x-1, y) \quad (12)$$

y de igual forma puede hacerse para el sentido en y . Lo anterior, aplicado al siguiente vecindario de pixeles, relativo a uno central:

$$\begin{matrix} f(x-1, y-1) & f(x, y-1) & f(x+1, y-1) \\ f(x-1, y) & f(x, y) & f(x+1, y) \\ f(x-1, y+1) & f(x, y+1) & f(x+1, y+1) \end{matrix}$$

Ello permite resaltar los cambios de interés en la imagen. Como puede verse en la figura 6 los con-

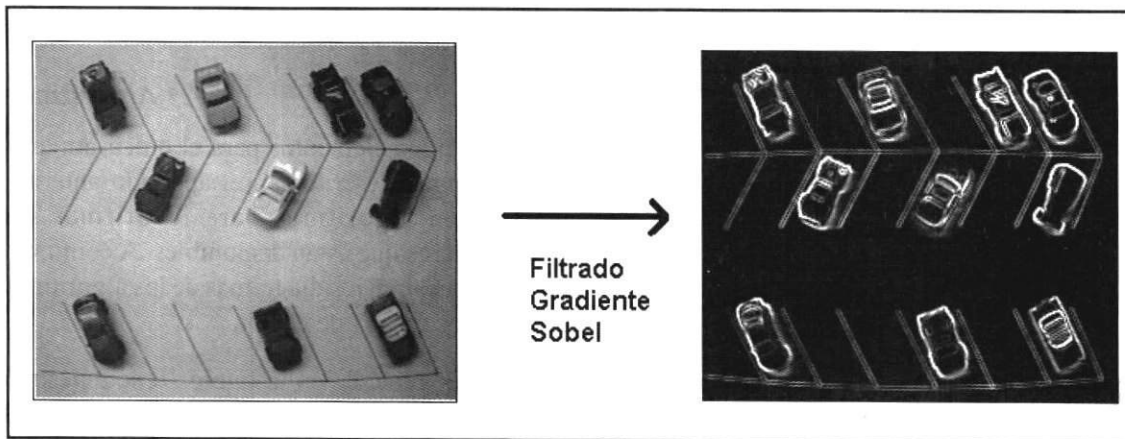


Figura 6 Filtro gradiente Sobel sobre el parqueadero

tornos de los vehículos se resaltan, al igual que las líneas de separación de los parqueaderos. Debido a que los cambios en la textura del parqueadero no son pronunciados, éstos casi no aparecen en la imagen de su gradiente.

Morfológicos. La morfología binaria es un área del procesamiento digital no lineal de la imagen. Está basada en los conjuntos de Minkowski para la adición y la sustracción. El filtro morfológico utilizado en esta aplicación es el OPEN el cual está formado por la realización de los operadores ERODE y DILATE, en este orden, al mismo elemento estructurante.

Operador dilatación (Dilate). La operación DILATE se define entre elementos gráficos, llamados objetos. Sea I^2 un espacio bidimensional definido para la imagen; la dilatación de un objeto A por un objeto B se define como:

$$A \oplus B = \cup_{t \in B} A_t \quad (13)$$

$$A_t = \{t \in I^2 : t = a + b, a \in A\}$$

Gráficamente puede verse el efecto del filtro DILATE en la figura 7, donde el elemento estructurante, con forma de cuadrado, opera sobre la figura cuadrada.

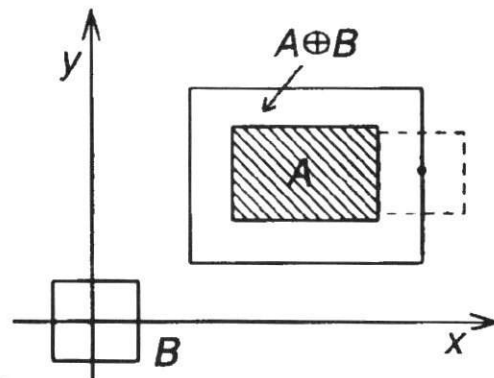


Figura 7 Operador dilatación (Dilate)

Operador erosión (Erode). La operación ERODE se define entre elementos gráficos llamados objetos. Sea I^2 un espacio bidimensional definido para la imagen; la erosión de un objeto A por un objeto B se define como:

$$A \ominus B = \cap_{t \in B} A_t \quad (14)$$

$$A_t = \{t \in I^2 : t = a - b, a \in A\}$$

Gráficamente puede verse el efecto del filtro ERODE en la figura 8, donde el elemento estructurante, con forma de círculo, opera sobre la figura cuadrada.

7. Procedimientos

7.1 Algoritmos

Utilizando los elementos para el procesamiento de la imagen descritos en el apartado anterior, se forman algoritmos para identificar los parqueaderos que están disponibles. A continuación se muestran los diagramas de los algoritmos empleados en esa detección.

Algoritmo general. En la figura 10 se muestran las rutinas esenciales para la detección de los parqueaderos disponibles. El proceso de tomar la imagen consiste en tener a la disposición la imagen del parqueadero, para analizarla con una frecuencia conveniente al proceso. La delimitación, resaltado, identificación y reporte se explican a continuación.

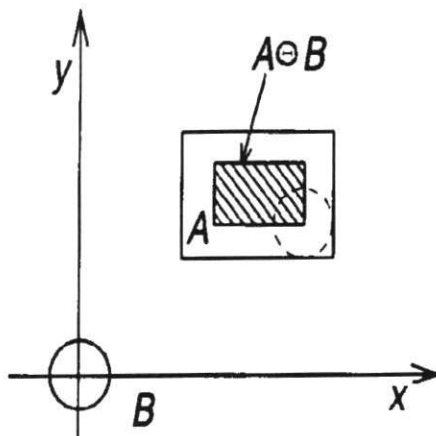


Figura 8 Operador erosión (Erode)

Filtro apertura (Open). El filtro morfológico correspondiente a la operación binaria OPEN, se define como la erosión de un objeto A por un elemento estructurante B , seguido por la dilatación del resultado anterior por el mismo elemento estructurante.

$$A_B = (A \ominus B) \oplus B \quad (15)$$

Gráficamente puede verse el efecto del filtro OPEN en la figura 9, donde el elemento estructurante, con forma de círculo, opera sobre la figura dada.

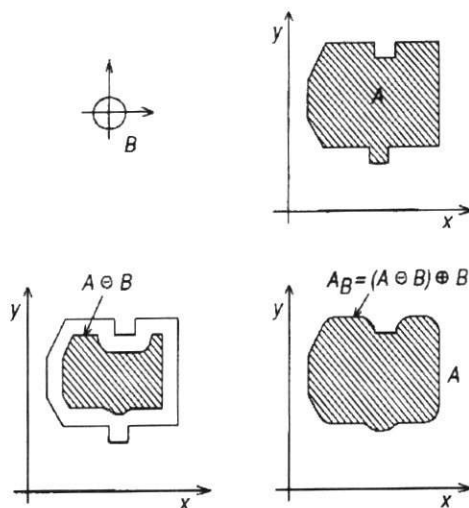


Figura 9 Filtro apertura (Open)

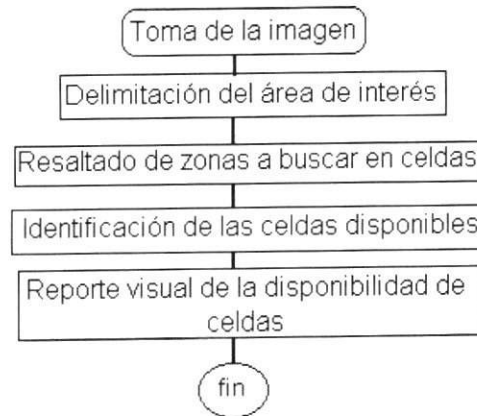


Figura 10 Algoritmo general

Toma de la imagen. La toma de la imagen se realizó sobre la maqueta de un parqueadero, y la digitalización de varias fotografías tomadas de otros parqueaderos. Las imágenes resultantes fueron en color RGB, de un tamaño de 320 por 200. Los equipos utilizados para la toma de imágenes fueron:

- Cámara de video a color CCD con salida en banda base de 1/3", de resolución 512 x 300 y f 2,0, a 1 LUX.
- Cámara de video en blanco y negro CCD con salida en banda base de 1/3", de resolución 512 x 492 y f4,3 a 0,3 LUX.

- Computador tipo PC Pentium II a 266 Mhz.
- Dispositivo capturador de video Snappy 3.0, 1.500 x 1.125 de resolución máxima.
- Maqueta del parqueadero.

El trabajo de campo se realizó mediante:

- Fotografías de varios de parqueaderos.
- Filmación de imágenes en un parqueadero convencional.

El software empleado:

- Sistema operativo: Windows 95.
- Software para el desarrollo de la aplicación: Borland C++ 5.0.
- Software para captura de la imagen: Snappy 3.0.
- Formato de imagen empleado: BMP 320 x 200.

Delimitación del área de interés. Aquí, el objetivo es el de no incluir información que no es relevante, al hacer el análisis de la imagen. Para esto, se utiliza una mascarilla que resalta las áreas de los parqueaderos sobre las cuales se quiere que opere el algoritmo. Esta acción se puede describir como se indica en la figura 11.

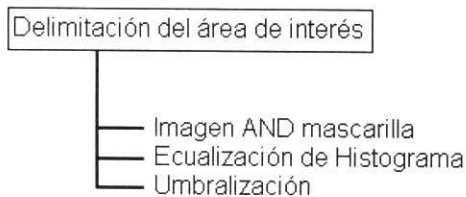


Figura 11 Delimitación del área de interés

Resaltado de zonas a buscar en las celdas. Los vehículos que ocupan las zonas de parqueo determinan cambios, que podrían considerarse como abruptos, con respecto a la característica de la textura de una imagen del parqueadero vacío. Este procedimiento busca resaltar este asunto (ver figura 12).

Luego de preparar la imagen, se identifican las celdas disponibles por diferentes métodos, como pueden ser los enumerados en la figura 13.

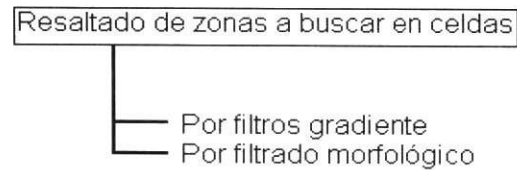


Figura 12 Resaltado de zonas para buscar en celdas



Figura 13 Algoritmo para la identificación de celdas

7.2 Operaciones asociadas a los algoritmos

Las operaciones que se realizan, para determinar las celdas disponibles en el parqueadero, se muestran en este apartado. Para empezar, se asigna a cada imagen su correspondiente referencia:

- $P(X, Y)$ es la imagen del parqueadero en RGB.
- $E(X, Y)$ es el elemento estructurante de forma cuadrada y de tamaño tal que se acomode al máximo, en el área de parqueadero más pequeña. Su formato es en grises.
- $M(X, Y)$ es la imagen mascarilla.
- $S(X, Y)$ es la capa de segmentación asociada a la imagen mascarilla.
- $N(X, Y)$ es la imagen que contiene la numeración sobre los parqueaderos.

- $C(X, Y)$ es la imagen comodín donde se almacenan los resultados.

7.3 Procedimiento

En el proyecto se realizaron tres procedimientos para la tarea propuesta. Aquí se muestra uno de ellos. El procedimiento expuesto esta basado en regularizar inicialmente la imagen mediante el filtrado gradiente. Con base en las operaciones y nomenclatura anteriormente mencionadas, para la realización del procedimiento se ejecutaron los pasos siguientes:

- $P(X, Y) = RGB - a - grises(P(X, Y))$
- $M(X, Y) = RGB - a - grises(M(X, Y))$
- $C(X, Y) = Sobel(255 - A(X, Y))$

donde opera sobre la imagen. Se toma el valor negativo de ésta.

- $C(X, Y) = C(X, Y) \text{ AND } M(X, Y)$
- $C(X, Y) = Umbral - prede(C(X, Y))$
- $C(X, Y) = (C(X, Y) - E(X, Y)) + E(X, Y)$
- $C(X, Y) = C(X, Y) + P(X, Y)$

7.4 Resultado

Los resultados sobre diferentes imágenes pueden verse en la figura 14.

Imagen inicial

Imagen procesada

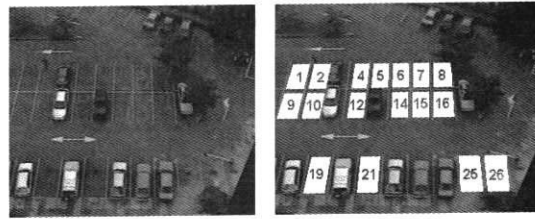
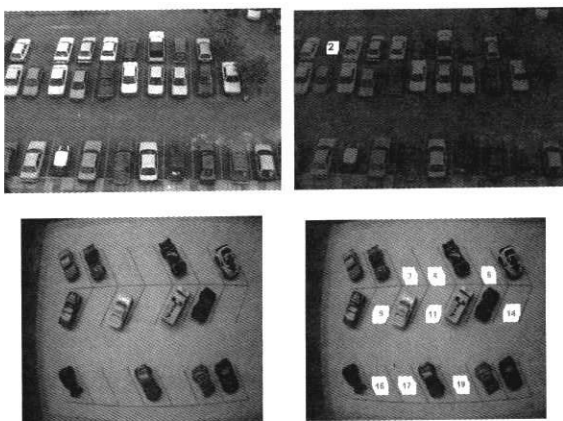


Figura 14 Imágenes antes y después del procedimiento

8. Conclusiones y líneas futuras

Como puede verse en este estudio, son varias las formas con las que se puede lograr identificar las celdas de un parqueadero, en las condiciones presentadas, haciendo uso de varias herramientas conceptuales, materializadas en un algoritmo con resultados prácticos. De igual forma, se muestra cómo pueden encontrarse alternativas de diseño para resolver problemas cotidianos, desde el punto de vista de la imagen, creando soluciones que resultan viables y que, incluso, pueden ser más económicas que las alternativas presentadas en el medio para el mismo fin.

Desde el punto de vista académico, en este trabajo se integran varios conceptos del procesamiento de imágenes que, expuestos en la integridad del algoritmo, motivan su aplicación en la solución de problemas prácticos.

Existen situaciones, en la línea de este estudio, en las cuales se puede trabajar para su desarrollo. Una de ellas consiste en aprovechar las cámaras de vigilancia de los parqueaderos de los centros comerciales para evaluar su ocupación.

Como puede verse en la figura 15, dos imágenes de un mismo parqueadero se han tomado como referencia. En la imagen de la izquierda las condiciones son especialmente hostiles, ya que se tiene un pavimento mojado en la noche y el reflejo de la luz de las lámparas sobre la cámara puede llegar a simular celdas ocupadas, para un sistema de detección como el presentado en este trabajo. En la imagen de la derecha, la perspectiva de la imagen difícilmente permi-



Figura 15 Situaciones que posiblemente requieren historia

tiría que algoritmos como los aquí expuestos puedan utilizarse eficazmente. En estos casos, es necesario investigar nuevas estrategias para el análisis de la imagen, como la detección y la evaluación del movimiento en ella, a manera de ingrediente adicional para el algoritmo. Con base en esto, se podría desarrollar un sistema donde la historia del proceso se integre para hallar una solución más amplia del problema expuesto.

Referencias bibliográficas

1. Castleman, K. R., *Digital Image Processing*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1996.
2. Maravall Gómez-Allende, Darío, *Reconocimiento de formas y visión artificial*, 1994, Wilmington, Delaware, Addison-Wesley Iberoamericana.
3. Pratt, William K., *Digital Image Processing*, New York, John Wiley, 1991.
4. Weeks, Jr., Arthur R., *Fundamentals of Electronic Image Processing*, New York, IEEE Press, 1996.