

DETECCIÓN Y RECONOCIMIENTO DE SEÑALES DE TRÁNSITO UTILIZANDO MATCHING DE CHAMFER

DETECTION AND RECOGNITION OF TRAFFIC SIGNALS USING MATCHING OF CHAMFER

Cristián Arriagada García¹ Diego Aracena-Pizarro²

Recibido 11 de agosto de 2006, aceptado 22 junio de 2007

Received: August 11, 2006 Accepted: June 22, 2007

RESUMEN

En la actualidad el campo de la visión computacional se muestra como una técnica que facilitará las actividades que pasan desapercibidas o no se es capaz de captar por descuido o falta de información. En este sentido son varios los campos que se beneficiarán por el uso de visión para contar con información que facilite operaciones, indique detalles no disponibles a simple vista, etc. En nuestro caso se presenta un prototipo que permite ayudar a un conductor de un vehículo a colocar atención a las señales del tránsito que estén postadas en la vía, pretendiendo asistir al conductor, y por ende evitar infracciones o accidentes. El prototipo desarrollado con técnicas de visión computacional permite detectar y reconocer las señaléticas presentes en la vía e informar su naturaleza al conductor mediante una señal audible o proyección visual. La investigación se centró principalmente en las fases de detección inicial; con el fin de contar con una heurística rápida, aprovechando la segmentación por color, con sus características de invariabilidad del sistema HSV (Brillo, Saturación, Valor) [10], y/o detección inicial por bordes, aprovechando el algoritmo de Chamfer optimizado [1]. Para finalmente detectar y reconocer los símbolos de la señal, utilizando técnicas de transformación distancia y matching jerárquico de Chamfer [1], acondicionadas para este tipo de aplicación. El prototipo en su fase de prueba fue implementado en Matlab, con el propósito inicial de comprobar la efectividad de los métodos empleados. Una vez comprobados se utilizó OpenCV para probar su funcionamiento en tiempo real.

Palabras clave: Visión por computador, reconocimiento de patrones, matching de Chamfer, transformación distancia.

ABSTRACT

Nowdays the computer vision field is shown as a technique that will facilitate those activities that are not noticed or those that have not been caught because of a lack of information. In this sense there are several fields that will have benefits by the use of vision of having data that facilitate operations, indicate not available details at first sight etc, in our case a prototype is presented which allows the opportunity to help a car driver to pay attention to the traffic signs on the road, attempting to assist the driver, and at the same time to avoid traffic infractions and accidents. The prototype developed with computer vision techniques, allows the detection and recognition of signposts that are on the road and to inform its nature to the driver through an audible sign or a visual projection. The research was mainly centered on the phases of initial detection; with the objective of taking into account a quick heuristic, taking advantage of the segmentation by color, with their characteristics of invariability of system HSV (Brightness, Saturation, Value) [10], and/or initial detection by borders, making use of the improved algorithm of Chamfer [1], finally to detect and recognize the symbols of the sign, using transformation of distance techniques and hierarchical matching of Chamfer[1], conditioned to this kind of application. The prototype in the phase of proof was implemented in Matlab, with the initial purpose of proving the effectiveness of the methods that were used. Once they are proved an OpenCV was used to verify its functioning in real time.

Keywords: Computer vision, patterns recognition, Chamfer matching, transformation distance.

¹ Escuela Universitaria de Ingeniería Industrial, Informática y de Sistemas. Universidad de Tarapacá. Arica Chile. cristian.arriagadagarcia@gmail.com.

² Escuela Universitaria de Ingeniería Industrial, Informática y de Sistemas. Área de Ingeniería en Computación e Informática. Universidad de Tarapacá. Arica, Chile. daracena@uta.cl

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se producen varios accidentes de tránsito por imprudencia de los conductores, al no tomar atención en la señalética que va apareciendo en el transcurso de la conducción. Lo que se pretende con el sistema de detección de señales de tránsito es alertar en forma anticipada al conductor, de la señalética que existe en su trayecto para que se tome en cuenta y se realicen las acciones pertinentes y no pase como en muchos casos desapercibida.

En este sentido las soluciones computacionales que ayuden a la conducción de un vehículo motorizado, hasta ahora lo más conocido y utilizado en los automóviles inteligentes [3,5], los cuales poseen un microcomputador, su tarea es la de variar sin intervención del conductor las revoluciones del motor. No está lejano el día en que un computador asista al conductor, ya sea en forma parcial o en su totalidad, aprovechando la multimodalidad de sensores (GPS ubicación geográfica satelital, RF radio frecuencia o señales activas, cámaras, etc.). Se puede imaginar a futuro un automóvil que lleve a destino, al usuario, sólo con indicárselo y sin la necesidad que éste intervenga en algún momento en la conducción.

En este trabajo se desarrolla un prototipo que permite captar las señales de tránsito como información existente en los caminos y calles a través de una cámara e indicar al conductor del móvil (señal audible, proyección o un visor) su resultado, mediante el empleo de técnicas de visión computacional, tales como reconocimiento de patrones, matching (homologación), transformación de distancia, detección de colores, bordes, etc., detectar las señalizaciones del tránsito que ayuden a la conducción de un vehículo.

Para este sistema, las señaléticas a considerar son sólo las que se encuentren instaladas sobre postes apropiados, obviando las que se encuentren dibujadas en el piso.

En esta etapa se da énfasis a la efectividad de los métodos utilizados en la fase de detección (por color, bordes, resolución piramidal [1,4]) y reconocimiento (técnicas de n-vecinos próximos [1-3]), para posteriormente considerar los tiempos de respuesta, en las diferentes etapas del proceso de reconocimiento de patrones (señal de tránsito específica).

La detección y reconocimiento de señales de tránsito es muy cambiante en un ambiente ruidoso [13]. Los signos pueden ser físicamente rotados o dañados por diferentes razones. El ángulo de vista desde el montaje de cámara en

el automóvil tiende artificialmente a rotar y distorsionar las imágenes. Los objetos externos, tales como árboles (hojas, ramas, etc.), pueden ocultar la señal de tránsito, y las condiciones de fondo dificultar aún más la detección. Las malas condiciones atmosféricas pueden tener efectos en la calidad de las imágenes. Para confrontar estos desafíos, los investigadores han diseñado técnicas para alcanzar un buen grado de calidad en el reconocimiento de señales en la vía. Sandoval et al. [14], desarrolla métodos para generar máscaras de convolución que son luego usadas para la detección de bordes dependientes de la posición de signos circulares. [12] aplica Fourier y transformaciones de grilla exponencial polar para extraer valores de rasgos invariantes de las señales de tráfico. [13] se focaliza más en la detección de señales de tránsito con fondo dificultoso. Asumiendo orientación constante de imágenes que contienen señales a detectar, ellos aplican métodos de matching de patrones o templates para detectar la señal candidata, y reportan un porcentaje alto de aciertos. [4] detecta y reconoce señales de tráfico circulares, libres de oclusión y con diferentes cambios de orientación sin ruido, el reconocimiento lo realiza mediante el algoritmo de Chamfer Jerárquico con diferentes medidas de confianza para la transformación distancias asociadas a Chamfer. [7] asume que la oclusión y mala calidad de las señales poco común en la realidad, en ese sentido asume oclusiones parciales y deterioros por condiciones climáticas, presenta una detección inicial por color RGB y el reconocimiento de 45 señales triangulares en diferentes escenarios, para lograrlo emplea la transformada discreta del coseno y métodos de descomposición de valores singulares (SDV) para contar con algunos rasgos invariantes de las señales de tránsito, y aplica estos rasgos como entrada a una red neuronal artificial (ANN).

Se estima que este trabajo presenta una contribución en el tema de detección y reconocimiento, en la fase de detección por color aprovechando las características del sistema HSV [10] y de borde aprovechando la técnica de matching de Chamfer [1]. Entregando una alternativa más eficiente del método de reconocimiento de patrones por n-vecinos próximos, aprovechando la fortaleza de la métrica transformación de distancia [1-3 y 7], en conjunto con el método de matching por correlación de Chamfer [1]. Este último ofrece un buen nivel de acierto, para este tipo de aplicaciones, presentando un mínimo paso para su implementación en tiempo real. El proceso de matching se basa en una estructura de recuperación de árbol jerárquico [4, 7 y 9], que se inicia con la investigación inicial de un patrón prototipo jerárquico, los cuales son una mezcla de patrones similares [2-4], comparación que se va realizando hasta llegar al matching apropiado, dado un margen de error, o se rechaza.

ARQUITECTURA DEL PROTOTIPO DE SOFTWARE

En la arquitectura del prototipo, necesaria para detectar y reconocer las señales de tránsito, las que están representadas por templetas generados sintéticamente, consistentes en una matriz de 47 x 74, se observan 5 bloques funcionales (figura 1), que son:

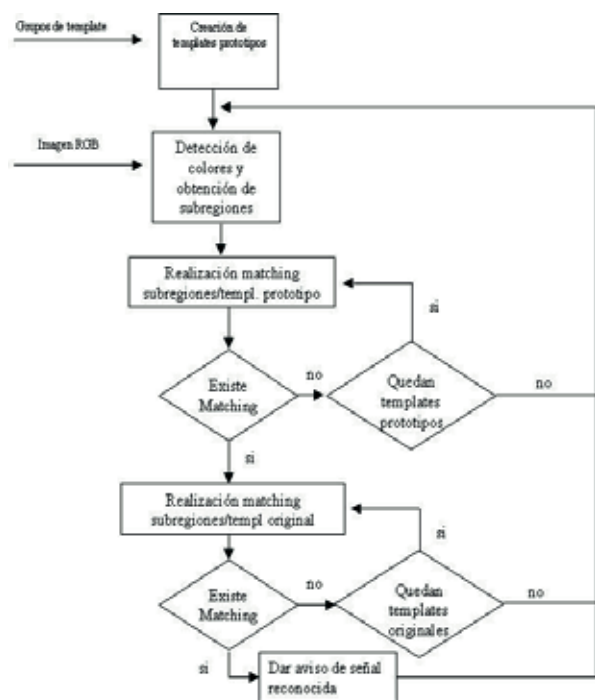


Figura 1. Esquema funcional del prototipo de reconocimiento.

- Creación de templetas prototipos; etapa que permite crear los templetas prototipos para cada grupo de patrones que presentan un alto grado de similitud. Después de lo cual se crean las estructuras de almacenamiento.
- Detección por color o bordes para obtener regiones de interés. Para el caso de detección por color, se realiza un filtro de los píxeles en la imagen de entrada, basándose en los valores HSV que poseen. Una vez realizado el filtro se procede a identificar regiones de píxeles conectados las cuales puedan contener señales de tránsito. Para el caso de detección por bordes, se realiza la búsqueda de la forma desde resoluciones piramidales, se identifican regiones y se procede de la misma manera anterior.
- Primera etapa de matching inicial. Se realiza la igualación entre cada una de las regiones de interés

detectadas y los patrones prototipos (consisten en una mezcla de patrones similares).

- Segunda etapa, matching final. Se realiza el calce entre cada una de las subregiones de interés detectadas y los patrones originales (pertenecientes al patrón prototipo detectado en c).
- Aviso de señal reconocida. Una vez encontrado un calce se dará aviso mediante una señal visual o audible.

Cabe señalar que para encontrar matching, se debe estudiar el proceso de correlación Chamfer para cada señal y determinar los thresholding apropiados, los cuales posteriormente son aplicados en la fase de prueba.

MÉTODOS UTILIZADOS

Detección preliminar

En la detección preliminar se usan dos métodos, detección por color y detección por bordes o contornos. La detección por contorno es la más apropiada porque no depende de la intensidad de luz que incide en la señal, para que sea visible. Lamentablemente es lenta, ya que se deben realizar operaciones de correlación que toman tiempo dependiendo del tamaño de la imagen. Por otro lado, el realizar una detección basada en color es más rápido, depende fuertemente de la calidad de la cámara y de la luz que incide en la señal, cuando esta detección falla, se pasa automáticamente a la detección por contornos, con templetas geométricas de los bordes de las señales.

Detección por color

Las señaléticas de tránsito deben cumplir con las normas vigentes, donde están establecidos su tamaño, forma, color, etc. Con respecto al color, éste se encuentra dentro de una gama establecida, de cierta intensidad y brillo que es usada en todo el mundo. Los colores más utilizados en las señales de tránsito son el blanco, rojo, amarillo y negro.

Para identificar los colores dentro de una imagen que contenga una señal de tránsito, se debe transformar la codificación de color que posea esa imagen de entrada, a un sistema que permita discriminar fácilmente su presencia en el ambiente, se considera el sistema HSV, presentado en [10], como el adecuado para este tipo de aplicación.

Basados en el sistema HSV, se realiza un estudio de los rangos de valores que varían los colores y se adopta un valor mínimo y máximo para que un píxel sea considerado

como parte de un color de interés. De esta manera los píxeles seleccionados podrían formar una vecindad, en la cual todos ellos estén conectados (4 u 8 vecinos), luego, se investiga su área, para finalmente discriminar por su tamaño si es una región de interés a ser investigada o no. Claramente esto sirve para reducir el área de búsqueda, con lo cual disminuye considerablemente el tiempo de respuesta [7].

Detección por borde o contornos

La segmentación por color tiene buen comportamiento en la detección en ambientes internos y erráticos en ambiente externo, una manera de obviar este problema se realiza en el estudio e implementación de un método basado en contornos, el cual consiste en correlacionar los contornos de figuras patrones, con los bordes de la imagen, en los distintos niveles de su resolución piramidal (sección siguiente), que se está analizando. Se inicia con el nivel más alto de la resolución y si se produce matching en la posición (x,y), esta posición se transforma en coordenadas equivalentes (x',y') para el siguiente nivel y se considera una área de investigación determinada por $x' - tamaño_templete_x < x' < x' + tamaño_templete_x$ e $y' - tamaño_templete_y < y' < y' + tamaño_templete_y$. Esto se realiza hasta llegar al nivel más bajo de la resolución. Al producirse matching en cada uno de los niveles de la resolución, se entrega la posición (x',y') del último nivel de la resolución como un área de interés que posteriormente será analizada con el algoritmo de Chamfer y las imágenes de señales patrones con que cuenta el sistema, lo que permitirá identificar el tipo de señal contenida en la imagen en proceso. Cabe hacer notar que la detección de bordes también se basa en el algoritmo de Chamfer (sección "Matching Jerárquico de Chamfer"), por ser este un algoritmo de matching que permite igualar patrones de manera aproximada y con un alto grado de acierto.

La resolución piramidal

Como una manera de minimizar el tiempo de demora del proceso de matching de contornos, empleando la técnica de Chamfer, se anexa la técnica de resolución piramidal. Esto permite realizar la operación de matching desde una imagen de menor tamaño a una de mayor tamaño, es decir, de acuerdo a la técnica desde un mayor nivel hasta la original que es la de menor nivel [15].

Esto condiciona el proceso de búsqueda de un template dentro de una imagen de menor resolución, el cual debe cumplir con la siguiente condición $0 < FD_{x,y} < TH_i$ (donde FD es la medida de confianza utilizada por el método de

matching de Chamfer (ecuación 7), para pasar al siguiente nivel de resolución y así sucesivamente, hasta los niveles de mayor resolución. En el caso que la condición se cumpla en los K niveles de la pirámide, se puede afirmar que existe un matching exitoso. Cabe hacer notar que es necesario establecer un valor threshold TH para cada nivel de la pirámide, ya que al bajar de nivel los valores de FD van en aumento debido a que en una imagen de mayor tamaño, un píxel va a tener mayor distancia de un punto de borde, que en un nivel superior o de menor resolución. Esto es si hay k niveles en la pirámide, entonces habrán TH1, TH2..., THk valores de threshold utilizados. La figura 2 muestra un ejemplo de resolución piramidal.

Una transformación importante es la del patrón base en cada uno de los niveles de la resolución piramidal, para esto cada una de las coordenadas del templete original son escaladas de la siguiente manera:

$$y = \frac{y_{templete} + 2^{nivel\ Imag\ Pirámide}}{2^{nivel\ Imag\ Pirámide}} \tag{1}$$

$$x = \frac{x_{templete} + 2^{nivel\ Imag\ Pirámide}}{2^{nivel\ Imag\ Pirámide}} \tag{2}$$

donde nivel ImagPirámide es el nivel de la imagen de trabajo en la pirámide y (xtemplete, ytemplete) son las coordenadas de puntos de bordes del templete ("templete").

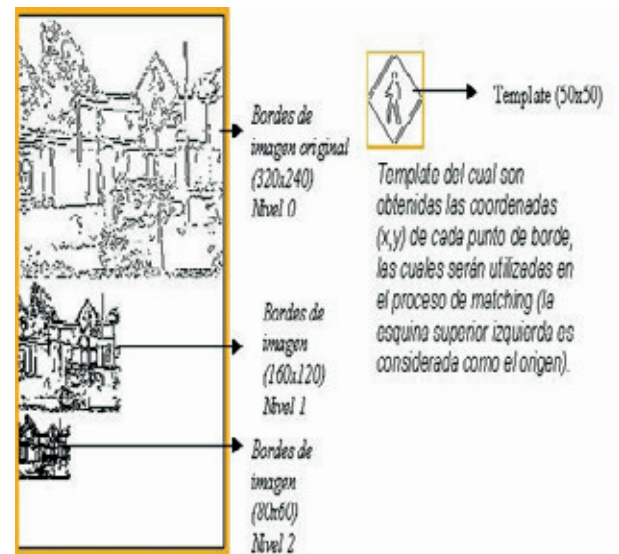


Figura 2. Resolución piramidal de nivel 2 basada en los bordes de la imagen original.

Transformación de Distancia

La Transformación de Distancia (TD) [1,4] es un proceso en el cual a partir de una imagen binaria, con píxeles de borde y fondo, se crea otra, donde cada píxel posee un valor que indica la distancia al píxel más cercano a un borde. Las distancias globales se aproximan por propagación a las distancias locales. Los algoritmos de TD normalmente utilizan rastreo de la imagen con una máscara de forma y tamaño fijo para la propagación de las distancias, independiente de las posiciones de los píxeles de borde. Las distancias calculadas son una aproximación de la distancia Euclidiana. En este proyecto se utiliza la aproximación por la métrica Chamfer 3-4 [1].

El proceso de matching utilizado aquí tiene como entrada dos imágenes binarias, un template T y una imagen I (en este caso las imágenes serán los píxeles de borde de T e I). Los píxeles “encendidos” denotarán la presencia de una característica y los píxeles “apagados” la ausencia de éstas en la imagen binaria.

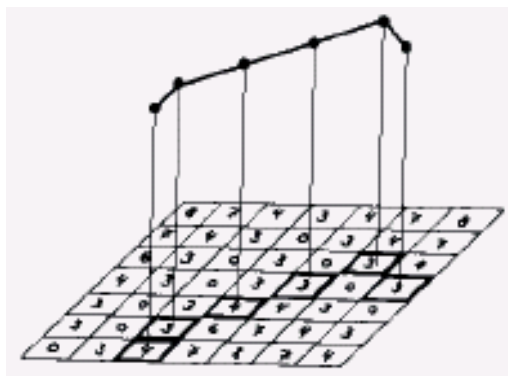


Figura 3. Cálculo de la Transformación Distancia.

Calcular el matching entre T e I involucra calcular la TD de la imagen I. El template T es posicionado sobre la TD de I; el matching calculado dependerá de los valores de píxel de la TD que están bajo los píxeles “encendidos” de T (ver figura 3). Estos valores de píxel forman una distribución de distancias que relacionan la imagen I y el template T. La más baja de estas distancias será la posición del calce entre el template y la imagen. Una forma de medir el matching sobre esta distribución es utilizar la Distancia de Chamfer, la cual es una distancia promedio para las características más cercanas definida por

$$D_{\text{Chamfer}}(T, I) = \left(\frac{1}{|T|}\right) \sum_{t \in T} d_i(t) \quad (3)$$

$$D_{\text{Chamfer}}(T, I) < \theta \quad (4)$$

donde |T| es el número de píxeles de T y $d_i(t)$ denota la distancia entre la característica t en T y la más cercana característica en I. Normalmente se dice que un template hace calce en una localización, cuando la distancia $D_{\text{Chamfer}}(T, I)$ es menor a un valor umbral θ .

Matching Jerárquico de Chamfer

El reconocimiento de patrones en imágenes es un problema clave en visión computacional, normalmente este proceso se complica debido al ruido y errores inherentes al procesamiento de las imágenes (ejemplo: Filtrado, extracción de bordes, etc.). Por otro lado, el proceso de “matching” juega un rol importante en los sistemas de visión, siendo importante su efectividad y velocidad de procesamiento. La técnica de reconocimiento denominado “Matching Jerárquico de Chamfer” (HCMA) realiza el matching de los puntos de borde u otras características de bajo nivel, de un patrón, si están presente en una imagen digital. El HCMA no sólo determina el mejor calce, sino que también da una medida de confianza para el proceso.

El algoritmo se basa en la búsqueda del (o los) mínimo(s) factor distancia entre cada posición de la imagen y el template (factor de similitud entre regiones de la imagen y el template de investigación), con la ventaja que no hace una correlación con todos los puntos del template en cada posición del área de búsqueda, sino que, sólo con los puntos de bordes del template, con los cuales calcula un factor distancia entre la transformación distancia de los bordes de la imagen y el template. Además tiene la propiedad de iniciar el proceso de matching en una resolución piramidal de la imagen, como se menciona en la sección “La resolución piramidal”, es decir, de la imagen original se obtienen otras idénticas con menos resolución a medida que se sube de nivel en la pirámide.

Para la realización del proceso de matching la imagen sufre un cambio. Una vez obtenidos los puntos de bordes de la imagen se realiza una Transformación de Distancia, la cual indica que tan lejos está cada uno de los píxeles de un punto de borde. La Transformación de Distancia utilizada aquí fue desarrollada en [1], cuya idea básica es que las distancias globales son aproximadas por propagación de las distancias locales. En nuestro caso se utiliza un algoritmo secuencial de dos pasadas sobre la imagen, “forward” y “backward” [1,4], de la siguiente manera.

Adelante (“Forward”)

for $i = 2, \dots$, número filas de imagen
 for $j = 2, \dots$, número columnas de imagen
 $v_{i,j} = \text{mínimo} (v_{i-1,j-1} + 4, v_{i-1,j} + 3, v_{i-1,j+1} + 4, v_{i,j-1} + 3, v_{i,j})$

Atrás (“Backward”)

for $i = (\text{número filas de imagen} - 1), \dots, 1$
 for $j = (\text{número columnas de imagen} - 1), \dots, 1$
 $v_{i,j} = \text{mínimo} (v_{i+1,j} + 3, v_{i+1,j-1} + 4, v_{i+1,j+1} + 3, v_{i+1,j+1} + 4, v_{i,j})$

Medida de confianza

La Imagen de Transformación Distancia (IDT) que muestra la figura 7 y las coordenadas de los puntos de bordes del template, son las entradas principales utilizadas en el proceso de matching. En la imagen IDT se realiza un barrido por posición de píxel de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. En cada posición de la IDT se calcula el factor distancia y su valor se almacena en una matriz resultante de igual tamaño de la imagen en tratamiento. En este trabajo se utilizó para el cálculo del factor distancia el valor RMS (raíz de las medidas al cuadrado), esto es una modificación del algoritmo original de Chamfer que utiliza sólo el promedio aritmético, medida que presenta una débil respuesta a nivel de aciertos en las pruebas externas realizadas (4). Esta modificación al factor distancia (FD) es de la forma:

$$FD = \frac{1}{3} \sqrt{(D_{\text{Chamfer}}(T, I))} \quad (5)$$

y donde

$$D_{\text{Chamfer}}(T, I) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n IDT(T(x_{\text{templ}k}), T(y_{\text{templ}k}))^2 \quad (6)$$

luego

$$FD = \frac{1}{3} \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n IDT(T(x_{\text{templ}k}), T(y_{\text{templ}k}))^2 \right)} \quad (7)$$

donde n es la cantidad de puntos de bordes del template, $x_{\text{templ}k}$ e $y_{\text{templ}k}$ son las coordenadas del k -ésimo punto de borde del template y T es la transformación desde el sistema de coordenadas del template al sistema de coordenadas IDT, en la posición del píxel actual en IDT. La figura 4 representa una subregión IDT.

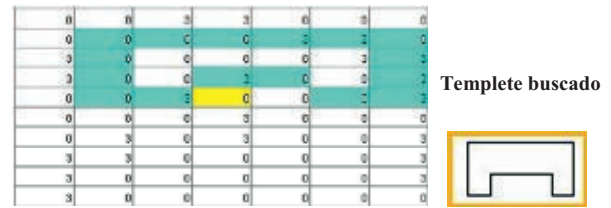


Figura 4. Cálculo FD en una región IDT.

Donde la celda destacada de color amarillo representa la posición actual del píxel en IDT, en la cual se está calculando FD (medida de confianza). Las celdas destacadas en color celeste son la entrada para el cálculo anterior. En la región IDT los píxeles de bordes son representados por los 0's, o sea hay 0 distancia al píxel de borde más cercano. Una vez calculado FD para cada píxel IDT, la posición más óptima del matching dentro de IDT será la con menor valor FD. Esto no quiere decir que se haya encontrado el template dentro de la imagen, sino que existe una región de la imagen que iguala con todos, algunos o pocos puntos con los bordes del template. Para esto es necesario establecer un threshold, que permita asegurar que la posición mínima encontrada es realmente parecida o idéntica al template. En el caso de que $FD=0$ es altamente probable que la región encontrada sea igual al template. Por lo tanto hay un valor umbral TH para el cual si $0 < FD_{x,y} < TH$ la región de la imagen con centro (x, y) , se encuentra el template que se está buscando.

Estructura de los templates o patrones de identificación

Adopta la estructura tipo árbol jerárquico almacenado en forma permanente en disco, ésta es transferida a una estructura *ad hoc* en memoria principal. Los templates son agrupados, basándose en las características de similitud existentes entre ellos. Esta subdivisión en grupos tiene como finalidad minimizar la cantidad de patrones a utilizar en el proceso y con esto el tiempo de procesamiento. La utilización de este agrupamiento en el proceso de matching hace necesario crear template prototipo por cada grupo, el cual contiene las características comunes de los patrones originales pertenecientes al grupo. La figura 5 muestra algunos grupos obtenidos y sus respectivos templates prototipos.

Por tanto, el proceso de matching se inicia con los templates prototipos. Si uno de estos provoca un calce, entonces se procederá a realizar de nuevo este proceso con cada uno de los templates pertenecientes al grupo, hasta que se tenga éxito en el matching o en el peor de los casos se descarte, volviendo al matching inicial. Esta

relación grupo/template prototipo puede ser mirado como la relación existente en un árbol de un nodo padre y sus hijos (hojas).

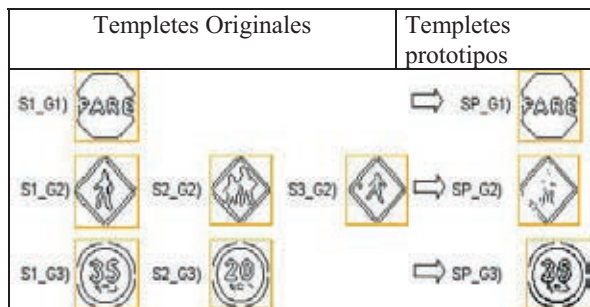


Figura 5. Grupos de templetes y su respectivo template prototipo.

RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan los resultados obtenidos con los métodos utilizados en esta investigación, en dos etapas: La primera, con imágenes capturadas con una cámara digital una a una, en ambiente real, determinándose los umbrales necesarios para su operación, y luego, la segunda etapa, con videos capturados desde un vehículo en marcha a 55 km/hora, repitiéndose el proceso de la primera.

Pruebas con imágenes por separado

Para ambas pruebas se considera inicialmente que las imágenes de prueba y la estructura jerárquica de los templetes están almacenados en memoria principal. El tamaño de la imagen de entrada es de 320x240 píxeles y los templetes varían de 74x74 a 55x55 píxeles, esto, está en directa relación con el conjunto de imágenes de pruebas, donde los patrones varían de tamaño según la señal de tránsito que contengan. La figura 6, muestra este efecto.

Con las imágenes de la figura 6 se consideraron dos niveles en el proceso de resolución piramidal, esto significó determinar los valores de threshold para cada uno de los niveles de profundidad piramidal y la medida de confianza FD que relaciona el patrón de prueba y los píxeles de la imagen. Ejemplo, con un template disco PARE (ver tabla 1), se realizó el proceso de matching con una imagen capturada en ambiente real externo, que contiene una señal disco PARE. Este proceso se realizó para cada grupo, subgrupo y patrones de señales, obteniéndose un conjunto de valores FD, donde se registró el threshold para cada división, como también, para cada uno de los niveles de resolución piramidal.

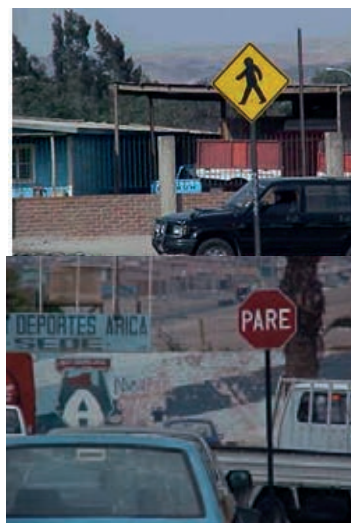


Figura 6. Efecto de lejanía, el signo Pare es de menor área que el Cruce de peatones.

Tabla 1. Thresholding de niveles para el signo PARE.

Nivel en la Pirámide	Threshold
0	1.543400666666667
1	0.795202
2	0.4066673333333333

Las pruebas iniciales arrojaron resultados satisfactorios, indicando la subregión y la posición central del template dentro de la imagen, permitiendo comprobar la efectividad de los métodos utilizados. A continuación, se muestra la secuencia realizada para el signo CRUCE PEATONAL en la primera imagen de la figura 6 y los resultados obtenidos:

- i. Creación de prototipos de Grupos de Template (ver figura 5).
- ii. Detección de objetos de interés a través de detección de colores.



Figura 7. Bordes de objetos filtrados por tamaño template.

- iii. Proceso de matching. En una primera etapa el proceso de matching, se comienza correlacionando los patrones prototipos (figura 5) con la imagen resultante del proceso

de detección por color (BOR_OBR1). Se consideró como criterio de éxito, cuando patrón prototipo cumple con los thresholding (ver tabla 2) en los tres niveles (SP_G2) se asume que existe un matching.

Tabla 2. Resultados de matching entre imagen BOR_OBR1 y cada uno de los templete Prototipos (ver figura 8).

Templete		Imagen	Nivel Piramidal de Imagen	Factor de distancia (FD) mínimo obtenido
Cumple Matching	Identificación			
No	SP_G1	BOR_OBR1	2	0.8674 (NCT)
No	SP_G3	BOR_OBR1	2	0.7393 (NCT)
Sí	SP_G2	BOR_OBR1	2	0.3365 (CT)
		BOR_OBR1	1	0.6109 (CT)
		BOR_OBR1	0	1.3340 (CT)

(*) NCT = No cumple threshold

(**) CT = Cumple threshold

Posteriormente, en la segunda fase del proceso de matching (ver tabla 3) se realiza un proceso idéntico a la etapa anterior, con la diferencia que son utilizados los patrones bases (S1_G2, S2_G2, S3_G2 de la figura 5), señaléticas propiamente tal, a los que representa el templete prototipo (SP_G2). Nuevamente se utiliza el criterio de éxito mostrado en la tabla 2, al existir un matching, el proceso de búsqueda finaliza entregando las coordenadas de imagen que limita la región donde se produjo el matching.

Tabla 3. Resultados de matching entre imagen BOR_OBR1 (figura 7) y cada uno de los templete hijos de SP_G2 (figura 5).

Templete		Imagen	Nivel Piramidal de Imagen	Factor de distancia (FD) mínimo obtenido
Cumple Matching	Identificación			
No	S2_G2	BOR_OBR1	2	0.5728 (NCT)
No	S3_G2	BOR_OBR1	2	0.3885 (CT)
		BOR_OBR1	1	0.8708 (NCT)
Sí (71,220)	S1_G2	BOR_OBR1	2	0.3592 (CT)
		BOR_OBR1	1	0.6499 (CT)
		BOR_OBR1	0	1.4778 (CT)

(*) NCT = No cumple threshold

(**) CT= Cumple threshold

Pruebas con videos capturados en ambiente real

En esta fase de pruebas se detectaron problemas con el proceso de segmentación por color, se obtenían algunas áreas de interés, que producían calce en lugares que no contenían ninguna señal de tránsito, y donde existían, no eran reconocidas. Esto se producía debido a factores ambientales y del entorno donde estaban instaladas las señaléticas, principalmente de luminosidad. Un ejemplo comparativo de esta prueba, se muestra en la figura 8. Sin embargo, esta técnica de segmentación disminuye de manera considerable el tiempo de procesamiento, pero depende de factores ambientales y de la cámara que lo hacen poco práctico para su uso externo.

El proceso de matching por bordes o contornos de los patrones señales de tránsito, permite no considerar el problema de luminosidad principalmente, y basar la detección inicial en matching de Chamfer, considerando sólo los bordes externos de las señales. Aun así, se obtuvieron resultados de áreas que no contenían ninguna señal de tránsito, como también matching falsos (ver figura 9).



a) En esta imagen encerrada en un cuadro se encuentra la señal que debería ser detectada.



b) En esta imagen se muestran los píxeles que pasaron el filtrado de color, con bajo número de píxeles, no detectándose la señal.



c) Imagen con el signo Pare.



d) segmentación por color, se detecta un signo Pare.

Figura 8. Comparación de resultados segmentación por color, imagen desde un video (a) contiene la señal a detectar y b) el resultado), y una imagen capturada por una cámara digital (c) contiene la señal a detectar y d) el resultado).

Esto se debe a la constante necesidad de actualizar los valores threshold, que deben utilizarse para ratificar la existencia de una señal en una imagen. Realizado

nuevamente la determinación de los thresholding, se comprobó su efectividad en la pruebas con imágenes capturadas desde videos (ver tabla 4 y tabla 5). Para esto fueron utilizadas las figuras 9-a y 9-c. Del conjunto de pruebas realizadas se concluye que para una mayor exactitud del proceso de reconocimiento, se debe tener para cada patrón señal de tránsito que maneje el sistema, un rango de valores thresholding distinto. Las limitaciones son directamente dependientes del tipo de cámara que se utilice, la distancia máxima y mínima que se desea que el sistema detecte la señal de tránsito, el tamaño de los patrones, el tamaño imagen de entrada que se utiliza, del formato y tipo de compresión que se haya utilizado para crear el video.



a) Áreas de interés seleccionadas al realizar matching con los patrones de bordes.



b) Área seleccionada desde a) al realizar matching con la imagen patrón de la izquierda.



c) Imagen utilizada en las pruebas de cálculo de umbral.



d) Área seleccionada desde c) al realizar matching con la imagen patrón de la izquierda.

Figura 9. Resultados obtenidos de la detección de bordes patrones y de la detección por matching de Chamfer.

Tabla 4. Umbrales utilizados pruebas con imágenes de la figura 9-a.

Nivel en la Pirámide	Valor de Threshold calculado para el prototipo del sistema (válidos para segmentación por comparación con figuras patrones)	
	Mínimo	Máximo
0	1.65400511	1.654034886
1	0.67965688	0.679669117
2	0.30738623	0.307391767

Tabla 5. Comparación de threshold utilizados por el prototipo del sistema y el sistema en tiempo real, con respecto la figura 9-c.

Nivel en la Pirámide	Umbral para detección por bordes o contornos	
	Mínimo	Máximo
0	0.83210551	0.83212049
1	0.3219571	0.3219629
2	0.4999955	0.5000045

Los resultados de las pruebas realizadas son bastante aceptables, ya que entregaban localizaciones muy exactas de la señal de tránsito detectada, y que junto a la resolución piramidal y la detección por color o por bordes, demuestra la eficacia y exactitud del algoritmo de Chamfer empleado.

CONCLUSIONES

De los resultado obtenidos y la experiencia de realizar pruebas con varios métodos de visión aplicables a la detección inicial y el reconocimiento de patrones o símbolos presentes en las señales de tránsito, se puede aseverar que el aprovechamiento del proceso de segmentación por color y la fortaleza del método HSV, permite de manera rápida lograr una primera aproximación, de las posibles áreas a investigar, pero sólo sirve para ambientes externos con características de luminosidad apropiados, o en ambientes internos preparados.

El uso de la resolución piramidal permitió disminuir el tiempo de búsqueda, ya que las comparaciones de plantillas comienzan sobre una imagen 4 veces menor en tamaño que la original. El nivel de la pirámide seleccionado tiene que ser acotado a un máximo donde el primer nivel no se convierta en una mancha de píxeles sin forma.

El proceso de detección por bordes o contornos, junto a la resolución piramidal se convierten en una poderosa herramientas de ahorro de tiempo de procesamiento, a medida que la cantidad de plantillas va en aumento, con lo cual se pueden procesar mas imágenes por unidad de tiempo, evitando la no detección de señales por ineficacia del sistema de detección.

En el proceso de reconocimiento de patrones, buscando las características radiométricas relacionadas con sus vecinos próximos, la heurística de matching jerárquico por Chamfer es un método de correlación eficaz para este tipo de proceso, la dificultad radica en sintonizar o

aprender apropiadamente los diferentes thresholding, para cada uno de los niveles de profundidad en los árboles, para una búsqueda de patrones exitosa.

El concepto de utilizar “patrones prototipo” y dependiendo de la complejidad crear “subpatrones prototipos” hasta llegar al reconocimiento del patrón buscado, es un método que puede ser extrapolado a otras aplicaciones, como por ejemplo la recuperación de patrones o imágenes desde base de datos, por ejemplo, utilizando Análisis de Componentes Principales (PCA).

El cálculo de los valores de Distancia de Chamfer dependen del tamaño de la imagen que se utilice como entrada en el proceso de detección, obteniendo diferentes valores si el factor es calculado en una imagen completa versus una región de ella, en una misma posición.

El formato y resolución de las imágenes se hace importante, porque de esto dependen los valores que representan a cada uno de los píxeles, los cuales pueden variar en forma centesimal, no visible a simple vista, pero que puede influir considerablemente en el proceso de detección.

TRABAJO FUTURO

Mejorar las técnicas de detección y reconocimiento utilizadas o desarrollar otras nuevas, con el fin de disminuir las no detecciones de señales por mal posicionamiento o desgastes, y por consiguiente el tiempo de procesamiento, importante para una aplicación en tiempo real de estas características. En la actualidad se está trabajando insertar en el reconocimiento usando técnica de Componentes Principales Invariantes [16, 17].

Implementar un método que automatice el cálculo de los valores threshold, los cuales podrían depender de parámetros de calibración de cámara, de luminosidad del entorno, características de la imagen que se está procesando, tales como calidad, tamaño y tipo de compresión utilizados.

REFERENCIAS

- [1] G. Borgefors. “Hierarchical Chamfer Matching. A parametric edge matching algorithm”, pp. 849-865. November 1988. Date of visit: April 2003. URLs: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/34.9107>
- [2] D.M. Gavrila. “Multi-feature Hierarchical Template Matching using Distance Transforms”, pp. 1-6. 1998. Date of visit: May 2003. URLs: <http://citeseer.ist.psu.edu/gavrila98multifeature.html>
- [3] D.M. Gavrila, V. Philomin. “Real-Time Object detection for “SMART” vehicles”, pp. 87-93. 1999. Date of visit: May 2003. URLs: <http://citeseer.ist.psu.edu/gavrila99realtime.html>
- [4] C. Northway. “Real time Traffic Sign detection using Hierarchical Chamfer Matching”, pp. 7-139. Octubre 2002. Date of visit: April 2003. URLs: <http://innovexpo.itee.uq.edu.au/2002/projects/s354244/thesis.pdf>
- [5] D.M. Gavrila. “Traffic Sign Recognition”, pp. 86-93. 1999. Date of visit: June 2003. URLs: <http://citeseer.ist.psu.edu/gavrila99traffic.html>
- [6] D.P. Huttenlocher, G.A. Klanderman, W.J. Rucklidge. “Comparing Images Using Hausdorff Distance”, pp. 850-863. September 1993. Date of visit: June 2003. URLs: <http://citeseer.ist.psu.edu/huttenlocher93comparing.html>
- [7] H. Ming Yang, C. Lin Lin, K. Hao Liu, S. Ming Huang. “Traffic Sign Recognition in Disturbing Environments”, pp. 252-261. 2003. Date of visit: July 2003. URLs: <http://www.cs.nccu.edu.tw/~chaolin/papers/ismis031.pdf>
- [8] W.J. Rucklidge. “Locating Objects Using the Hausdorff Distance”, pp. 457-464. 1995. Date of visit: July 2003. URLs: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/ICCV.1995.466904>
- [9] S. Aksoy, R.M. Haralick. “Graph-Theoretic Clustering for Image Grouping and Retrieval”. University of Washington. Seattle, EE.UU. 1999. Date of visit: August 2003. URLs: <http://citeseer.ist.psu.edu/aksoy99graphtheoretic.html>
- [10] J. Foley, A. Van Dam, S. Feiner and J. Hugues “Computer Graphics Principles and Practice”. 2nd Edition. Addison Wesley. July 2000.
- [11] L. Shapiro and G. Stockman. “Computer Vision”. May 2002. Date of visit: March 2003. URLs: <http://george.ee.washington.edu/courses.html>
- [12] N. Kehtarnavaz and Ahmad. “Traffic sign recognition in noisy outdoor scenes”. Proceeding of the IEEE IV, pp. 460-465. 1995. Date of visit:

- August 2003. URLs: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=528325
- [13] G. Piccioli, E. De Micheli, M.P. Campani. "A robust Method for road sign detection and recognition". *Image and Vision Computing*. Vol. 14 N° 3, pp. 209-223. 1996. Date of visit: August 2003. URLs: http://citeseer.ist.psu.edu/piccioli96_robust.html
- [14] H. Sandoval, T. Hattori, S. Kitagawa and Y. Chigusa. "Angle-dependent edge detection for traffic signs recognition". *Proceeding of the IEEE IV 2000*, pp. 308-313. 2000. Date of visit: October 2003. URLs: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abs_free.jsp?arNumber=898360
- [15] G. González, R. Woods R, S. Eddins. "Digital Image Processing using Matlab". Pearson Prentice Hall. New Jersey. 2004.
- [16] D.S. Guru, P. Punitha. "An invariant scheme for exact retrieval of symbolic images based upon principal component analysis". *ACM Pattern Recognition Letters*. Vol. 25 N° 1. 2004.
- [17] R. Herrera-Acuña, D. Aracena-Pizarro. "Image recognition and retrieval using an invariant schema based on principal component vector analysis". *IeCCS2006. E-Conference for Computer Science. Grecia*. 2006.