

MEMORIA DE PRÁCTICA FINAL

Máster Universitario en Ingeniería de Sistemas y de Control

Visión por Computador

Enero 2011

Manuel David Franco Barrios

Índice de contenido

| | |
|--|----|
| Introducción | 3 |
| Problema elegido..... | 3 |
| Soluciones existentes..... | 3 |
| Alternativas planteadas..... | 3 |
| Descripción del proceso empleado | 4 |
| Detección de bandas horizontales..... | 5 |
| Detección de secciones verticales..... | 7 |
| Validación..... | 8 |
| Resultados obtenidos | 9 |
| Posibles mejoras | 16 |
| Implementación | 17 |
| Bibliografía consultada | 18 |

Índice de ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1: Imagen de entrada..... | 5 |
| Ilustración 2: Gradiente horizontal y su proyección | 6 |
| Ilustración 3: Gradiente vertical y su proyección..... | 8 |
| Ilustración 4: Matrícula detectada..... | 9 |
| Ilustración 5: Matrícula detectada (II)..... | 10 |
| Ilustración 6: Matrícula detectada (III)..... | 10 |
| Ilustración 7: Matrícula detectada (IV)..... | 11 |
| Ilustración 8: Matrícula detectada (V)..... | 11 |
| Ilustración 9: Falso positivo (I)..... | 12 |
| Ilustración 10: Falso positivo (II)..... | 13 |
| Ilustración 11: Falso positivo (III)..... | 13 |
| Ilustración 12: Negativo (I)..... | 14 |
| Ilustración 13: Negativo (II)..... | 14 |

Introducción

La presente memoria responde a la descripción del trabajo realizado como práctica final de la asignatura "Visión por computador" del Máster Universitario en Ingeniería de Sistemas y de Control de la UNED.

Problema elegido

El problema elegido como tema para dicha práctica es uno de los que se proponían en la guía de la asignatura: la detección de la región correspondiente a la matrícula en imágenes de vehículos.

La razón para elegir este problema fue principalmente la aplicación tan evidente que tiene el mismo en sistemas de control de tráfico reales, lo que lo hace interesante, y la ya existencia de los mismos, lo que me hacía suponer que el problema estaría suficientemente estudiado y documentado, con lo cual sería más abordable a pesar de su presupuesta complejidad.

Soluciones existentes

Es fácil encontrar con una simple búsqueda en internet muchos documentos que describen métodos muy variados para la localización y reconocimiento de matrículas de vehículos, incluso también algunas implementaciones abiertas de sistemas con este propósito.

De entre las encontradas, la más interesante me pareció el proyecto JavaANPR¹, en cuya web pude descargar tanto un documento describiendo con detalle un método para localizar y reconocer los caracteres de matrículas en fotografías de vehículos [1], como una implementación del mismo en lenguaje Java, y un juego de imágenes que ha sido muy útil en las pruebas realizadas.

Alternativas planteadas

Han sido varias las aproximaciones tomadas al inicio del estudio del problema, siendo las siguientes las principales que he tenido en cuenta a la hora de decantarme por un procedimiento concreto.

Los primeros intentos iban orientados a detectar el contorno rectangular de la matrícula mediante métodos de segmentación, de búsqueda, descripción y comparación de contornos, detección de líneas rectas, y otros similares. Algunos de los algoritmos utilizados en estas pruebas fueron: threshold, threshold adaptativo, mean-shift, otsu, canny, o hough; así como filtros de realzado y suavizado de la imagen, o ecualización de su histograma. Los resultados, no obstante, no eran satisfactorios. También pensé en hacer uso del histograma en color de la imagen, ya que el

¹ <http://javaanpr.sourceforge.net/>

histograma de una matrícula debe ser, imagino, bastante característico en cuanto a que idealmente tiene sólo negros y blancos (obviando la gama de grises propia del ruido), pero no llegué a probar esta idea. Tras unos días intentando por este camino, desistí y opté por estudiar más métodos existentes.

Un segundo planteamiento que tenía en mente, tras conocer la aplicación exitosa de clasificadores entrenados para el reconocimiento facial (vease el ejemplo de reconocimiento facial mediante clasificadores Haar que viene con las librerías OpenCV, listo para usar), fue que quizá podría hacer uso de este mismo método entrenando un clasificador para el reconocimiento de matrículas. Aquí el principal problema sería recopilar una cantidad suficiente de imágenes válidas para poder llevar a cabo el entrenamiento y la validación y pruebas del clasificador.

La tercera alternativa fue un método basado en el procedimiento utilizado por el proyecto JavaANPR [1], que hace uso de la densidad de bordes verticales y horizontales que se da en la imagen de una matrícula para intentar detectar la región donde se localiza, mediante la división de la imagen en bandas horizontales y verticales en función de la densidad de las proyecciones horizontales y verticales de las respectivas derivadas direccionales de la imagen original. Se describe con más detalle el proceso en las siguientes secciones de esta memoria, ya que esta fue la alternativa finalmente elegida tras consultar al profesor Gonzalo Pajares, que me recomendó desestimar la anterior de aprendizaje automático debido a la alta variabilidad de las imágenes de matrículas, y al tiempo disponible para la realización de la práctica.

Descripción del proceso empleado

El proceso aplicado para intentar detectar la región de la matrícula en una imagen de un vehículo se basa en la probabilidad de que una región de la misma contenga la matrícula en función de los bordes horizontales y verticales contenidos en ella respecto al resto de la imagen, y la posterior utilización de heurísticas para confirmar que efectivamente así es.

Como ya he comentado en la sección anterior el proceso está basado en el descrito en el proyecto JavaANPR [1], o mejor dicho parte de este, ya que el citado llega a tratar con el reconocimiento de los caracteres de la matrícula, lo que queda fuera del alcance del presente trabajo.

Para describir el procedimiento con más detalle, pasaré primero a enumerar los principales pasos del mismo y posteriormente a explicarlos detalladamente por separado, mostrando su aplicación sobre una imagen a modo de ejemplo:

1. Detección de bandas horizontales de la imagen original donde es más probable que esté contenida la matrícula.

2. Dentro de cada banda obtenida en el paso anterior, detección de las secciones verticales de la misma que probablemente contengan la matrícula, obteniendo regiones candidatas.
3. Validación de la región candidata, comprobando que efectivamente se trata de una matrícula, mediante técnicas heurísticas.

Detección de bandas horizontales

La primera forma de acotar la región de la imagen donde puede encontrarse la matrícula es intentar localizar los límites superior e inferior de la misma. Para ello, se hace uso de la detección de bordes verticales (calculando el gradiente horizontal de la imagen), partiendo de la hipótesis de que la matrícula contendrá una densidad importante de los mismos.



Ilustración 1: Imagen de entrada



Ilustración 2: Gradiente horizontal y su proyección

Para el cálculo del gradiente simplemente se utiliza un filtro Sobel horizontal, que proporciona el resultado observable en la ilustración 2. A continuación para conseguir una distribución de probabilidad vertical se procede a proyectar la imagen obtenida sobre el eje vertical, reduciendo la imagen a una sola columna que contiene la suma por filas de todos los píxeles, es decir, para cada fila se suman todos los píxeles, con lo que se obtiene una matriz de la misma altura pero de una sola columna.

Esta matriz columna contiene por tanto una estimación de la probabilidad de que cada fila corresponda a la matrícula. En principio el resultado puede presentar muchos picos en filas individuales debidos al ruido, y realmente el interés está más centrado en bandas o grupos de columnas contiguas donde los valores son altos, por lo que se procesa esta matriz con un filtro de suavizado. El tipo de filtro y la dimensión del mismo (siempre con una sola columna) han sido objeto de experimentación y finalmente los valores seleccionados son meramente fruto de la misma y de los resultados observados para las imágenes disponibles. En concreto, se ha optado finalmente por un filtro de media aritmética con dimensiones $1 \times N$, siendo N la altura de la imagen multiplicada por 0.04. El resultado sería el mostrado en la ilustración 2, en la imagen a la derecha que acompaña al gradiente. Como se observa, un valor mayor (más blanco) se corresponde con la franja vertical donde se localizan más bordes verticales (en este caso la matrícula).

Una vez se tiene esta distribución, las bandas de interés se calculan de la siguiente forma:

1. Se localiza el valor máximo en la distribución obtenida (proyección suavizada).

$$y_{max} = (y \mid \forall x \ f(y) \geq f(x))$$

2. Se calcula la columna superior más cercana tal que el valor en dicha columna es menor que el valor máximo encontrado multiplicado por una constante c_1 .

$$y_0 = \max(y \mid y < y_{max}, f(y) \leq c_1 \cdot f(y_{max}))$$

3. Se calcula la columna inferior más cercana tal que el valor en dicha columna es menor que el valor máximo encontrado multiplicado por una constante c_1 .

$$y_1 = \min(y \mid y > y_{max}, f(y) \leq c_1 \cdot f(y_{max}))$$

4. La banda encontrada es la comprendida entre (y_0, y_1) .

La constante c_1 se ha calculado de manera experimental, conforme a los resultados obtenidos para las imágenes disponibles, y se ha establecido finalmente en 0.5.

Pueden obtenerse varias bandas, para lo cual el procedimiento a seguir sería establecer a 0 el valor de la banda ya calculada en la proyección, y repetir de nuevo desde el punto 1 para obtener una nueva banda.

Detección de secciones verticales

Tras obtener una banda (o lista de bandas) en la que es probable que se encuentre una matrícula, el siguiente paso es acotar la región horizontalmente, aplicando un procedimiento análogo al anterior, pero sólo a la banda en cuestión, y cambiando la dirección del gradiente y proyección a calcular. Esto es, se aplica un filtro Sobel vertical sobre la banda, obteniendo el resultado mostrado en la ilustración 3.

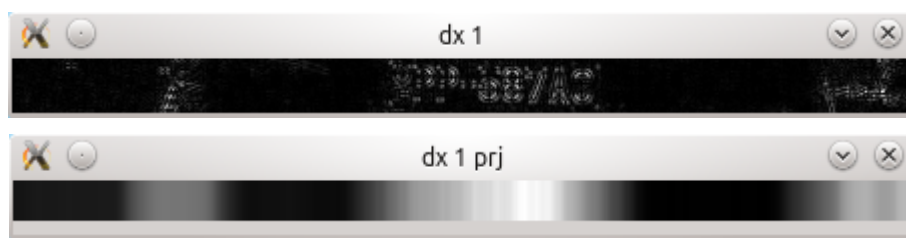


Ilustración 3: Gradiente vertical y su proyección

La proyección se calcula también de manera análoga pero en dirección vertical, y de nuevo ha de suavizarse para despreciar saltos abruptos que pudieran estar ocasionados por el ruido existente en la imagen. En esta ocasión no obstante, el filtro usado es una matriz $M \times 1$ donde M es la anchura de la banda multiplicada por 0.1.

Para determinar los límites de la sección se procede también de forma análoga al paso anterior, localizando primero el valor máximo y luego las fronteras más cercanas donde el valor baja del valor umbral calculado como una fracción del máximo: $c2 \cdot \max$, donde $c2$ es una constante establecida experimentalmente al valor 0.6.

Validación

Tenemos por tanto en este punto una región rectangular (o varias) de la imagen original que podría corresponder aproximadamente a una matrícula, pero también es aún muy probable que se trate de un falso positivo.

Es por tanto obvia la necesidad aún de validar de alguna forma que la región candidata contiene realmente una matrícula. Sin embargo, obtener un método realmente fiable de clasificar el contenido de la región como matrícula o no no es trivial.

Un primer criterio, y el único implementado en este trabajo, es restringir la relación de aspecto de la región a un valor que no sea excesivamente lejano de 5, por ejemplo limitarlo de 2 a 10, de forma que toda región cuya relación anchura/altura quede fuera de este intervalo sea directamente rechazada como candidata.

El método utilizado por [1] es directamente intentar reconocer caracteres en la región, contarlos y comprobar que hay un número "razonable" de ellos. El reconocimiento se lleva a cabo mediante una red neuronal entrenada al efecto.

Lamentablemente, no he dispuesto de tiempo suficiente para poder seguir estudiando este punto, que supongo requeriría bastante más trabajo para ser resuelto satisfactoriamente.

Resultados obtenidos

La región obtenida tras el proceso sobre la imagen de ejemplo seguido hasta ahora es la marcada por el rectángulo verde en la ilustración 4 a continuación.

No obstante, en esta imagen las condiciones son bastante buenas, prácticamente ideales, para el algoritmo presentado. El único pequeño escollo lo supone la inscripción presente en el vehículo justo en la zona superior de la matrícula ("SILUMA"), que podría inducir a confundirla con una matrícula.

Se presentan otros ejemplos donde el procedimiento también ha funcionado correctamente en las ilustraciones 5, 6, 7 y 8.



Ilustración 4: Matrícula detectada



Ilustración 5: Matrícula detectada (II)



Ilustración 6: Matrícula detectada (III)



Ilustración 7: Matrícula detectada (IV)



Ilustración 8: Matrícula detectada (V)

En bastantes casos, debido a la falta de un método de validación fiable, como se ha comentado en el apartado correspondiente, se dan falsos positivos, es decir, se considera región candidata una zona donde no hay realmente una matrícula. Esto ocurre en cuanto que una región candidata cumple con el único requisito de corte requerido, la relación de aspecto similar a la de una matrícula, como se muestra en las ilustraciones 9, 10 y 11.



Ilustración 9: Falso positivo (I)

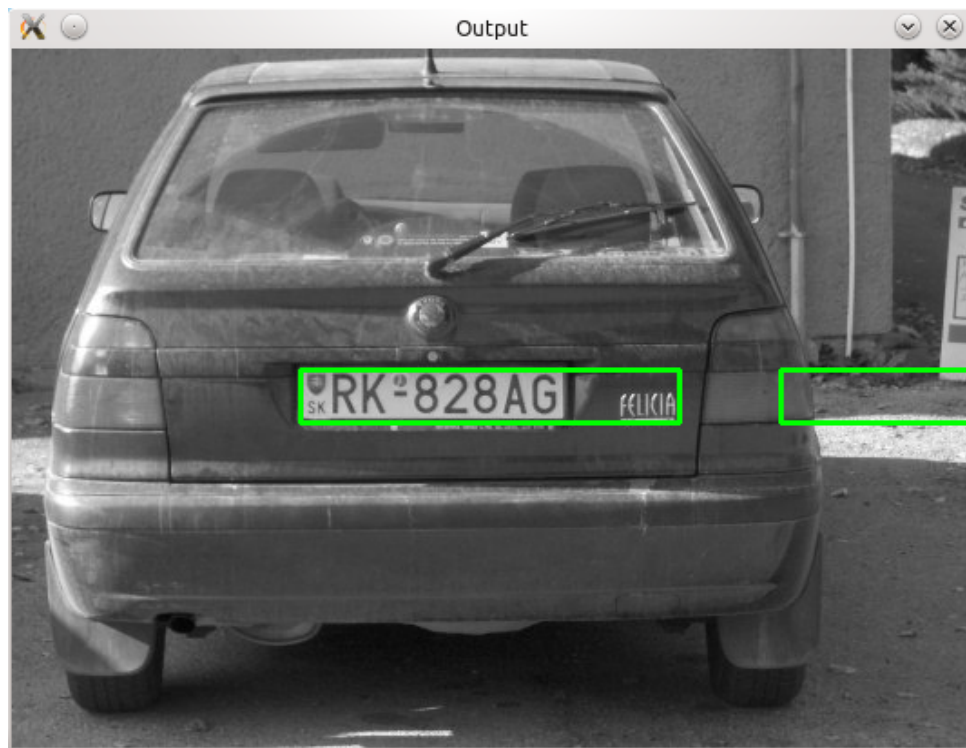


Ilustración 10: Falso positivo (II)



Ilustración 11: Falso positivo (III)

La ocurrencia de falsos positivos es algo no deseable, pero no excesivamente preocupante en cuanto a que se puede solucionar simplemente con la adición de comprobaciones adicionales.

No obstante, existen circunstancias en las que el algoritmo no acierta a recoger la zona de la matrícula con ninguna de las regiones candidatas que genera, con lo cual, por mucho refinamiento posterior que se enlazase a la salida del procedimiento, nunca se llegaría a poder reconocer y leer la misma, que se entienda el objetivo primordial final de una potencial aplicación que hiciese uso de este método. Ejemplos de imágenes donde el procedimiento falla de esta forma se muestran en las ilustraciones 12 y 13.

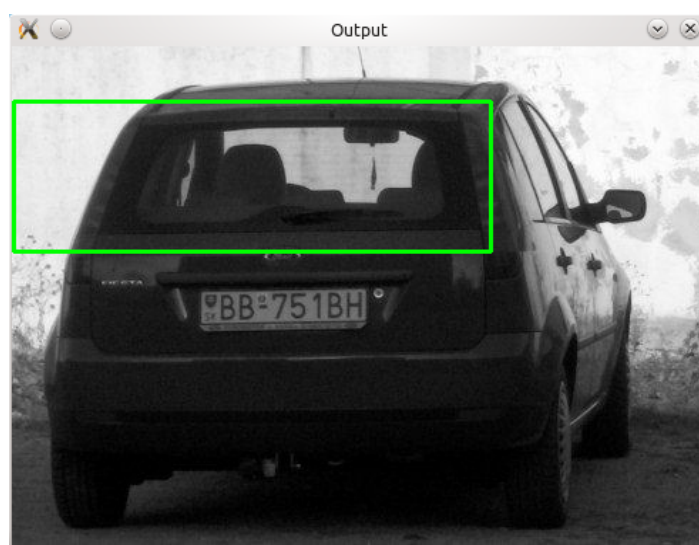


Ilustración 12: Negativo (I)

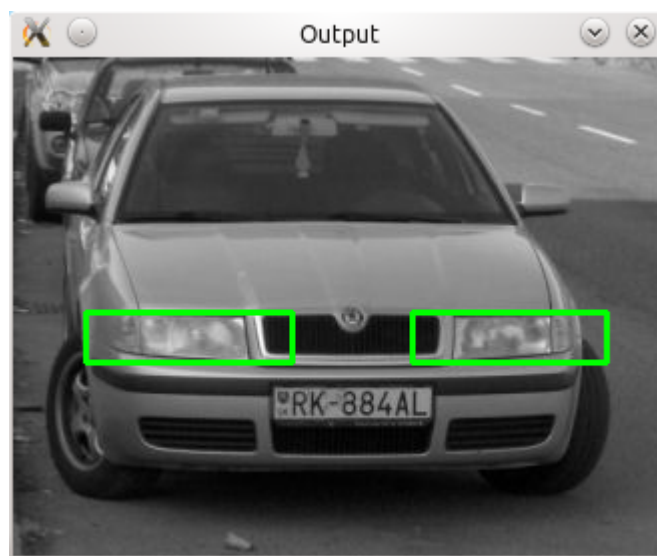


Ilustración 13: Negativo (II)

Como conclusión, y teniendo en cuenta sólo el número de imágenes con las que se ha probado el procedimiento, podría deducirse una estadística en porcentajes de acierto aproximada a la siguiente:

| | |
|---|--------|
| Imágenes donde se obtuvieron positivos reales (pudiendo ir acompañados de falsos positivos) | 90,00% |
| Imágenes donde se obtuvieron falsos positivos (pudiendo ir acompañados de positivos reales) | 50,00% |
| Imágenes con resultado negativo (ninguna de las regiones candidatas contenía la matrícula realmente) | 10,00% |

No obstante hay que destacar que esta estadística carece de mucho valor, ya que el resultado del algoritmo depende altamente de los valores establecidos para las constantes y filtros utilizados en el proceso, y que han sido elegidos de forma experimental según los propios resultados que se iban obteniendo, con lo cual es de suponer que son más adecuados a las imágenes de las que se disponía para esta práctica, pero no tienen por qué ser óptimos para otras diferentes.

También cabe destacar que las características de las imágenes elegidas son bastante favorables para un posible reconocimiento, ya que la situación se complicaría mucho si se incluyesen imágenes donde las matrículas aparezcan rotadas, en perspectiva no totalmente frontal, parcialmente ocluidas, en condiciones de iluminación deficientes o extrañas (p.e. con sombras), sucias, o en escalas muy grandes o pequeñas respecto a la imagen global.

Posibles mejoras

La mejora más evidente y ya comentada sería la inclusión de un mecanismo eficaz para descartar los falsos positivos reportados por el procedimiento. Esto permitiría poder aumentar el número de bandas y secciones a considerar sin miedo a que el número de falsos positivos se disparase. No obstante, la búsqueda de este mecanismo no es trivial y requeriría de un estudio en profundidad. Una forma podría ser, quizá, analizar el histograma de la región y compararlo con un histograma tipo para la imagen de una matrícula, que supongo bastante particular debido al hecho de haber (idealmente) mayoritariamente colores blancos y negros (de nuevo idealmente) puros.

Sería posible también, independientemente de lo anterior, aumentar quizá la precisión a la hora de calcular las bandas y secciones de interés teniendo en cuenta no sólo la densidad de bordes detectados en las proyecciones, sino también aprovechar la característica del fondo blanco de la matrícula para realizar también proyecciones de la imagen en sí misma y agregar esta información a la hora de seleccionar la banda o sección. Un modo sería multiplicar ambas proyecciones (de gradiente y de imagen original) y sobre su resultado calcular las bandas de interés. Esto, no obstante, es sólo una de tantas ideas que no ha dado tiempo a implementar y probar, aunque de antemano se puede anticipar que sería poco útil en el caso de que el coche fotografiado fuese blanco, e incluso perjudicial si el coche fuera oscuro pero el fondo de la imagen fuese predominantemente blanco y abundasen los bordes.

En el caso de matrículas rotadas o en perspectiva, quizá sería posible también intentar detectar este hecho y calcular la transformación afín necesaria para poder ceñirse mejor a la zona de la matrícula exclusivamente. El procedimiento descrito en [1] realiza esta detección mediante la búsqueda de líneas (Hough), y seleccionando la de mayor longitud, supone que corresponde a uno de los bordes horizontales de la matrícula y calcula el ángulo de rotación necesario para su transformación.

Este método también propone la realización de dos iteraciones para la detección de regiones, es decir, detectar una banda y sobre ella una sección horizontal y sobre la región obtenida volver a aplicar el mismo procedimiento en una segunda fase. Las constantes utilizadas serían diferentes en ambas fases, así como también se propone que en la segunda fase se utilice la información de color (detección de blanco) en lugar del gradiente.

Implementación

La implementación del procedimiento descrito se ha llevado a cabo en lenguaje C++, y se ha hecho uso extensivo de las librerías OpenCV en todos los pasos del mismo.

El código será enviado en fichero zip por separado adicionalmente a la presente memoria, junto con un binario ya compilado para Windows y Linux, y un sencillo manual de uso de la aplicación en formato txt incluido en el propio zip.

Bibliografía consultada

- [1] Ondrej Martinsky; Algorithmic and mathematical principles of automatic number plates recognition systems; B.SC. Thesis, 2007.
(<http://javaanpr.sourceforge.net/anpr.pdf>)
- [2] Gary Bradski, Adrian Kaehler; Learning OpenCV;
1st edition, O'Reilly Media; 2008
- [3] Gonzalo Pajares, J.M. de la Cruz; Ejercicios Resueltos de Visión por Computador;
1^a edición, RA-MA, Madrid, 2007
- [4] Gonzalo Pajares y Jesús M. de la Cruz; Visión por computador: imágenes digitales y aplicaciones; 2^a edición, RA-MA, Madrid, 2007