

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES EN
PLACAS VEHICULARES PARA EL ACCESO
AUTOMÁTICO DE VISITAS A UN EDIFICIO**

Tesis para optar por el Título de Ingeniero Informático, que presenta el bachiller:

Gerardo Alfonso Joel Espinoza Vásquez

ASESOR: César Beltrán Castañón

Lima, Noviembre del 2014

RESUMEN

Actualmente se poseen distintos sistemas de seguridad en edificios, donde el acceso vehicular es realizado manualmente por medio de personal del edificio. Este método da lugar a esperas cuando se tiene un visitante y se tiene que autorizar su entrada, ya que se tiene que contactar con el personal para confirmar. Asimismo, para los residentes en ciertos casos puede ser un inconveniente perder su llave de acceso. La propuesta de este trabajo es la creación de un software de reconocimiento de placas vehiculares el cual será de ayuda a los sistemas de control de acceso utilizados en edificios. El software intentará automatizar el proceso de acceso de residentes y visitantes autorizados por medio de acceso basado en reconocimiento visual de la placa vehicular.

En el mundo son usados sistemas de reconocimiento de placas vehiculares que apoyan en labores de vigilancia, parqueo inteligente y control de tráfico. El uso de estos sistemas es impulsado por los gobiernos que los usan, difundiendo el desarrollo a través de inversiones tecnológicas o por empresas que ofrecen el servicio, sin embargo, por ejemplo en nuestro país, aún no se tiene un sistema de este tipo que funcione adecuadamente, esto podría ser por diferentes motivos, donde el más característico es el poco control sobre la norma del uso de las placas de autos. En ese sentido nuestra propuesta se restringirá al uso del sistema dentro de un ambiente controlado como el acceso a un edificio por parte de residentes y visitantes autorizados.

El principal problema que se abordará en el presente trabajo es el referido a la detección automática de la placa vehicular del sistema peruano de placas vehiculares, lo cual implica realizar un pre-procesamiento de la imagen el cual incluye la binarización y detección de bordes de la imagen, y finalmente la segmentación (detección) de la placa. Una vez detectada la placa, esta puede ser procesada por un sistema de reconocimiento óptico de caracteres (OCR). Lo que se pretende es desarrollar un método que extraiga la placa de los automóviles, teniendo como espacio de aplicación controlado el acceso vehicular de un edificio, considerando las características de las placas de autos nacionales además de los factores de error presentes en el entorno peruano.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO INFORMÁTICO

TÍTULO: SISTEMA DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES EN PLACAS VEHICULARES PARA EL ACCESO AUTOMÁTICO DE VISITAS A UN EDIFICIO

ÁREA: Ciencias de la Computación

PROPONENTE: César A. Beltrán Castañón

ASESOR: César A. Beltrán Castañón

ALUMNO: Gerardo Alfonso Joel Espinoza Vásquez

CÓDIGO: 20090395

TEMA N°: 528

FECHA: 15 de septiembre de 2014



DESCRIPCIÓN

Actualmente se poseen distintos sistemas de seguridad en edificios, donde el acceso vehicular manualmente por medio de personal del edificio. Este método da lugar a esperas cuando se tiene un visitante y se tiene que autorizar su entrada, ya que se tiene que contactar con el personal para confirmar. Asimismo, para los residentes en ciertos casos puede ser un inconveniente perder su llave de acceso. La propuesta de este trabajo es la creación de un software de reconocimiento de placas vehiculares el cual será de ayuda a los sistemas de control de acceso utilizados en edificios. El software intentará automatizar el proceso de acceso de residentes y visitantes autorizados por medio de acceso basado en reconocimiento visual de la placa vehicular.

En el mundo son usados sistemas de reconocimiento de placas vehiculares que apoyan en labores de vigilancia, parqueo inteligente y control de tráfico. El uso de estos sistemas es impulsado por los gobiernos que los usan, difundiendo el desarrollo a través de inversiones tecnológicas o por empresas que ofrecen el servicio, sin embargo, por ejemplo en nuestro país, aún no se tiene un sistema de este tipo que funcione adecuadamente, esto podría ser por diferentes motivos, donde el más característico es el poco control sobre la norma del uso de las placas de autos. En ese sentido nuestra propuesta se restringirá al uso del sistema dentro de un ambiente controlado como el acceso a un edificio por parte de residentes y visitantes autorizados.

El principal problema que se abordará en el presente trabajo es el referido a la detección automática de la placa vehicular del sistema peruano de placas vehiculares, lo cual implica realizar un pre-procesamiento de la imagen el cual incluye la binarización y detección de bordes de la imagen, y finalmente la segmentación (detección) de la placa. Una vez detectada la placa, esta puede ser procesada por un sistema de reconocimiento óptico de caracteres (OCR). Lo que se pretende es desarrollar un método que extraiga la placa de los automóviles, teniendo como espacio



de aplicación controlado el acceso vehicular de un edificio, considerando las características de las placas de autos nacionales además de los factores de error presentes en el entorno peruano.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar e implementar un sistema de detección y reconocimiento automático de placas vehiculares para el acceso de visitas autorizadas a un edificio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adaptar y programar los algoritmos de mejora de imágenes (detección de bordes)
- Adaptar y programar los algoritmos de detección de líneas (Hough transform) y de contornos (Contour) para la localización de las posibles zonas donde se encuentra la placa de rodaje.
- Integrar heurística de filtrado de zonas para descartar falsos positivos en la localización de la placa
- Integrar un algoritmo, módulo o software OCR (Optical character recognition) ya existente que pueda usar como input el resultado del objetivo 3 (localización de placa).
- Validación y evaluación del prototipo integrado de reconocimiento de placas.

ALCANCE

El alcance de este proyecto incluirá el desarrollo de un algoritmo de detección de placas vehiculares para el estándar peruano, modulado en tres etapas básicas: Pre-procesamiento, detección y reconocimiento de la placa. Estas placas deberán estar ajustadas a un ángulo de visión directo, es decir, se usarán imágenes donde las placas estén orientadas en posición frontal directa a la cámara. La ubicación de la placa en la imagen puede ser aleatoria, se reconocerá en cualquier parte de la imagen que esté, sin embargo la distancia de la placa a la cámara será no mayor a un metro y medio, esto se debe al escenario propuesto en el acceso vehicular de un edificio. Finalmente cabe mencionar que el conjunto de imágenes que se utilizarán se han obtenido en un ambiente controlado basado en estas limitaciones.

Máximo: 100 páginas



Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre, Susan, quien lamentablemente no pudo ser testigo de la culminación del mismo, pero que siempre me apoyó en todo lo que realizaba en mi vida.

A mi padre, Christian, cuyo apoyo y guía siempre me mantuvieron en el mejor rumbo posible.

A mi otra madre, Luisa y a mi tía Raquel, en quienes siempre puedo confiar por un amoroso consejo y que siempre están detrás de mí para asegurar que nunca esté solo.

Y finalmente a todas esas personas, familia y amigos, que siempre me ayudaron en momentos difíciles y que ocupan un lugar especial en mi vida.



TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL PROBLEMA | 1 |
| 1 INTRODUCCIÓN Y PROBLEMÁTICA | 1 |
| 2 MARCO TEÓRICO | 3 |
| 2.1 MARCO CONCEPTUAL | 3 |
| 2.1.1 CONCEPTOS RELACIONADOS AL PROBLEMA | 3 |
| 2.1.2 CONCEPTOS RELACIONADOS A LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN | 4 |
| 2.1.3 OTROS CONCEPTOS | 11 |
| 2.2 MARCO REGULATORIO / LEGAL | 12 |
| 3 ESTADO DEL ARTE | 13 |
| 3.1 FORMAS EXACTAS DE RESOLVER EL PROBLEMA | 13 |
| 3.2 FORMAS APROXIMADAS DE RESOLVER EL PROBLEMA | 13 |
| 3.3 PRODUCTOS COMERCIALES PARA RESOLVER EL PROBLEMA | 13 |
| 3.4 PRODUCTOS NO COMERCIALES (DE INVESTIGACIÓN) PARA RESOLVER EL PROBLEMA | 15 |
| 3.5 PROBLEMAS RELACIONADOS | 15 |
| 3.6 CONCLUSIONES SOBRE EL ESTADO DEL ARTE | 16 |
| CAPÍTULO 2: FINALIDAD DEL PROYECTO | 17 |
| 1 OBJETIVO GENERAL | 17 |
| 2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 17 |
| 3 RESULTADOS ESPERADOS | 17 |
| 4 HERRAMIENTAS, MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS | 18 |
| 4.1 MAPEO | 18 |
| 4.2 MATRIZ DE VALORACIÓN | 18 |
| 4.3 METODOLOGÍA BASADA EN LA EXPERIMENTACIÓN PREVIA DE OTROS AUTORES | 18 |
| 4.4 ALGORITMOS A UTILIZARSE | 19 |
| 4.5 OPENCV 2 | 19 |
| 4.6 PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS | 20 |
| 5 ALCANCE | 20 |
| 5.1 LIMITACIONES | 20 |
| 5.1.1 LIMITACIONES CON RESPECTO AL PROYECTO | 21 |
| 5.1.2 LIMITACIONES CON RESPECTO A LA SOLUCIÓN ALGORÍTMICA PROPUESTA | 22 |
| 5.2 RIESGOS | 23 |
| 6 JUSTIFICACIÓN Y VIABILIDAD | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 6.1 JUSTIFICATIVA DEL PROYECTO DE TESIS _____ | 23 |
| 6.1.1 IMPLICACIONES PRÁCTICAS _____ | 23 |
| 6.1.2 IMPLICACIONES TEÓRICAS _____ | 24 |
| 6.2 ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL PROYECTO DE TESIS _____ | 24 |
| 7 PLAN DE ACTIVIDADES _____ | 25 |
| CAPÍTULO 3: PRE-PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN _____ | 27 |
| 1. PRE-PROCESAMIENTO PARA DETECCIÓN _____ | 27 |
| A. MEJORA DE CONTRASTE _____ | 27 |
| B. DETECCIÓN DE BORDES _____ | 28 |
| CAPÍTULO 4: DETECCIÓN DE LA PLACA _____ | 31 |
| 2. DETECCIÓN DE LA PLACA _____ | 31 |
| A. ALGORITMO DE CONTOUR _____ | 31 |
| B. TRANSFORMADA HOUGH _____ | 33 |
| C. DETECCIÓN DE POSIBLES LOCALIZACIONES DE LA PLACA _____ | 34 |
| CAPÍTULO 5: PROCESAMIENTO Y RECONOCIMIENTO DE LA PLACA _____ | 37 |
| 3. FILTRO DE VENTANAS E IDENTIFICACIÓN DE LA PLACA _____ | 37 |
| A. PARALELISMO _____ | 37 |
| B. DIMENSIONES _____ | 37 |
| C. HEURÍSTICA DE IDENTIFICACIÓN DE PLACA _____ | 37 |
| 4. RECONOCIMIENTO DE PLACA _____ | 38 |
| A. PRE-PROCESAMIENTO _____ | 38 |
| B. ESTIMACIÓN VERTICAL _____ | 39 |
| C. ESTIMACIÓN HORIZONTAL _____ | 40 |
| CAPÍTULO 6: INTEGRACIÓN Y RESULTADOS _____ | 42 |
| 5. INTEGRACIÓN _____ | 42 |
| A. MÓDULO DE PRE-PROCESAMIENTO _____ | 42 |
| B. MÓDULO DE DETECCIÓN _____ | 42 |
| C. MÓDULO DE RECONOCIMIENTO _____ | 45 |
| 6. RESULTADOS DE DETECCIÓN _____ | 46 |
| CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO _____ | 50 |
| 7. CONCLUSIONES _____ | 50 |
| 8. TRABAJO FUTURO _____ | 57 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____ | 58 |

CAPÍTULO 1: Generalidades del problema

1 Introducción y problemática

Actualmente se poseen distintos sistemas de seguridad en edificios, donde el acceso vehicular se realiza manualmente por medio de personal del edificio. Este método da lugar a esperas cuando se tiene un visitante y se tiene que autorizar su entrada, ya que se tiene que contactar con el personal para confirmar. Asimismo, para los residentes en ciertos casos puede ser un inconveniente perder su llave de acceso. La propuesta de este trabajo es la creación de un software de reconocimiento de placas vehiculares el cual será de ayuda a los sistemas de control de acceso utilizados en edificios. El software intentará automatizar el proceso de acceso de residentes y visitantes autorizados por medio de acceso basado en reconocimiento visual de la placa vehicular.

La propuesta se debió gracias a tres factores decisivos, simplicidad de implantación, seguridad de información y costo. La alternativa al sistema de reconocimiento visual es otro tipo de control de acceso muy conocido y comentado, el control por chip. Analizando la viabilidad de ambas propuestas resaltaron la facilidad de implantación de la solución y costo implicado. Por un lado, la facilidad de implantación, el sistema de reconocimiento visual, se adapta a las placas vehiculares del usuario, necesitando solo de una base de datos de placas para funcionar eficientemente, mientras que el uso de chips de verificación presenta problemas al intentar contemplar la posesión de más de un vehículo por persona, o el caso de una nueva adición a la base de datos; en general, se presentan problemas de gestión de vehículos complicando los cambios en el sistema. Por el lado de la seguridad de información, el chip podría contener información relacionada al vehículo o de su propietario, convirtiéndose este en una posible fuga de información, problema que no se tiene con el sistema de reconocimiento de placas. Finalmente, evaluando el costo de las soluciones, si se considera en un aumento en el número de usuarios, el sistema basado en chip generará un costo adicional cada vez que se agregue un usuario nuevo al sistema, mientras que un sistema de reconocimiento óptico no presenta gastos adicionales de ese tipo. Basado en este análisis simplificado se escoge un software de reconocimiento de placas para tratar esta problemática.

Actualmente en el mundo son usados sistemas de reconocimiento de placas vehiculares que apoyan en labores de vigilancia, parqueo inteligente y control de

tráfico [8]. El uso de estos sistemas es impulsado por los gobiernos que los usan, difundiendo el desarrollo a través de inversiones tecnológicas o por empresas que ofrecen el servicio, sin embargo, por ejemplo en nuestro país, aún no se tiene un sistema de este tipo que funcione adecuadamente, esto podría ser por diferentes motivos, donde el más característico es el poco control sobre la norma del uso de las placas de autos. En ese sentido, nuestra propuesta se restringirá al uso del sistema dentro de un ambiente controlado como el acceso a un edificio por parte de residentes y visitantes autorizados en un sistema. Se han identificado una serie de razones por las cuales se dificultaría la implementación de una solución a este problema en el país basado en dificultades generales identificadas por diferentes autores [2][5][7]:

- Placas no estandarizadas: En el Perú un problema que afecta directamente a la factibilidad de usar un software de este tipo es la irregularidad de las placas. Se han realizado esfuerzos por estandarizar las placas, mas aún existen placas diferentes anteriores a estas reglas que muestran diferencia de color y formato.
- Placas sucias.
- Adornos en el marco que afectan tanto la forma percibida del marco de la imagen como la iluminación.
- Tamaño irregular.
- Placas torcidas.
- Placas fuera de posición predefinida.

El principal problema que se abordará en el presente trabajo es el referido a la detección automática de la placa vehicular del sistema peruano de placas vehiculares, lo cual implica realizar un pre-procesamiento de la imagen el cual incluye la binarización y detección de bordes de la imagen, y finalmente la segmentación (detección) de la placa. Una vez detectada la placa, esta puede ser procesada por un sistema de reconocimiento óptico de caracteres (OCR).

Lo que se pretende es desarrollar un método que extraiga la placa de los automóviles, teniendo como espacio de aplicación controlado el acceso vehicular de un edificio, considerando las características de las placas de autos nacionales además de los factores de error presentes anteriormente mencionados. Esta propuesta concluye con una pregunta:

¿Cómo podríamos facilitar el acceso diferenciando los vehículos pertenecientes a residentes y visitantes autorizados de un edificio?

2 Marco teórico

2.1 Marco conceptual

En este apartado se explicarán los conceptos necesarios para entender el problema y la propuesta de solución además de conceptos básicos relacionados al tratamiento de imágenes que se usarán a través de este proyecto.

2.1.1 Conceptos relacionados al problema

License plate recognition (LPR): Es un problema que involucra reconocimiento de imágenes para identificar exitosamente un vehículo por su placa. Tiene aplicaciones en manejo del tráfico en tiempo real, en vigilancia, en parqueo automático, entre otros [8]. Este problema generalmente se limita a situaciones controladas con respecto a la posición del vehículo y la iluminación debido a la necesidad de considerar múltiples situaciones diferentes. Estas situaciones incluyen cambios en inclinación, iluminación, opacidad y complejidad del entorno que presenta la imagen capturada de la placa [6].

Este problema se puede dividir en dos partes principales: la detección y el reconocimiento, siendo uno el que prepara la imagen y entrega, en su salida, la entrada del otro.

Detección de placa (Plate detection): División del problema de LPR considerada por algunos autores como la pieza más importante del problema debido a la poca cantidad de soluciones propuestas y a la alta necesidad de cómputo en contraste al reconocimiento de caracteres de la placa del cual existe una variedad de soluciones propuestas e implementadas [6][7][9]. Este proceso es el encargado de localizar la posición de la placa en una imagen al igual que darle un formato especial para el siguiente proceso. Este sub-problema se puede dividir en las siguientes etapas:

- Pre-procesamiento: Etapa de arreglo o mejora en la representación de la imagen para facilitar su tratamiento posterior.
- Detección: Etapa en la cual se detectan las zonas de posible ubicación de la placa y se escoge la más indicada según criterio.
- Normalización de imagen: Etapa en la cual se procesa la imagen obtenida como resultado de la etapa anterior de modo que cumpla un estándar mínimo para el siguiente proceso del problema.

Reconocimiento de placa: División del problema de LPR en el cual se procesa la imagen resultado del proceso anterior para obtener una representación textual, la cual sería el número de la placa vehicular para este caso. Este proceso se puede dividir en etapas al igual que la detección mas debido al alcance del proyecto no se detallará exhaustivamente.

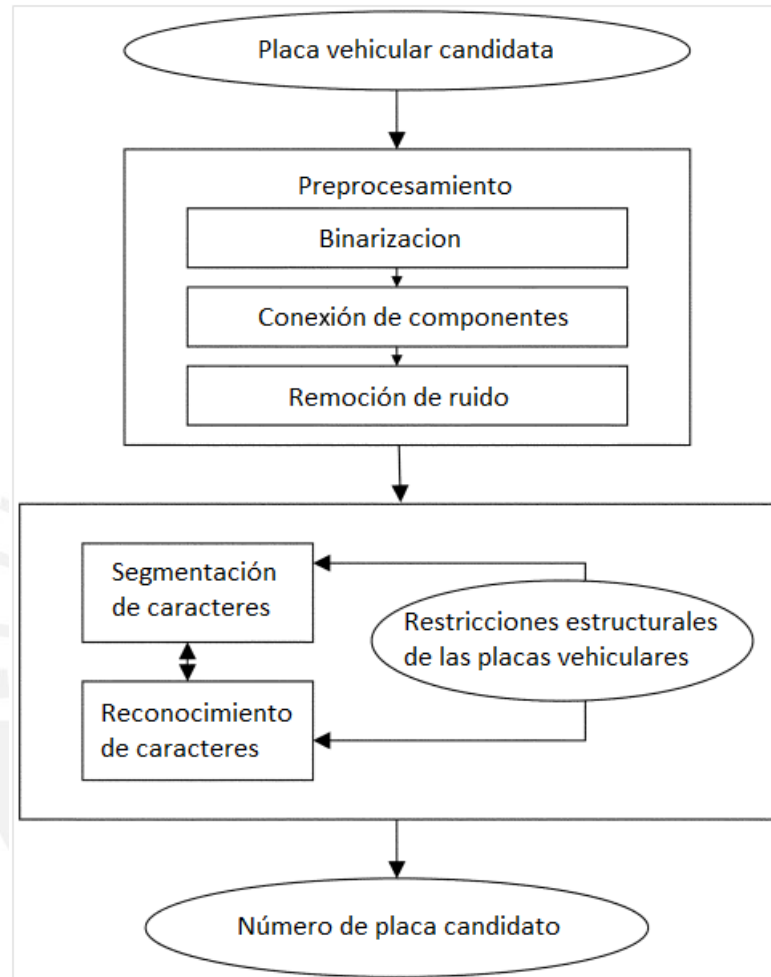


Imagen 1.1: Procedimiento de reconocimiento de placa traducido de [5]

En la Img1.1 se aprecia el procedimiento a tomar después del proceso de detección, una vez se tenga un candidato de placa. Se detallará hasta la etapa de reconocimiento de caracteres, para la cual se requiere de un módulo de reconocimiento óptico de caracteres (OCR) el cual no se mostrará en detalle.

2.1.2 Conceptos relacionados a la propuesta de solución

En este apartado se explicarán conceptos teóricos relacionados a los cuatro aspectos más importantes de la solución, siendo estos la representación de una imagen en la computadora, el pre-procesamiento de la imagen, la detección de la placa y la

normalización de la placa para aplicar un procedimiento de reconocimiento de caracteres.

2.1.2.1 Representación de la imagen

Existen distintos modelos de representación de imágenes, pero debido a su complejidad de representación y al poder de computación requerido para trabajar con algunas representaciones basadas en color, en este trabajo solo se tratará la representación de una imagen como mapa de bits. Esta representación trata a cada pixel como un número el cual representará la intensidad de color del mismo.

Esta representación básica puede dividirse en:

- Imagen en escala de grises: Imagen en la que los valores de los píxeles pueden tomar valores entre 0 y 255 los cuales simbolizan una tonalidad de gris diferente cada uno.



Imagen 1.2: Imagen en escala de grises[10]

- Imagen binaria: Imagen en escala de grises que puede ser considerada como un caso especial en la que los únicos valores de cada píxel son 0 y 255, esto significa que visualmente la imagen solo puede tomar los colores blanco y negro respectivamente.

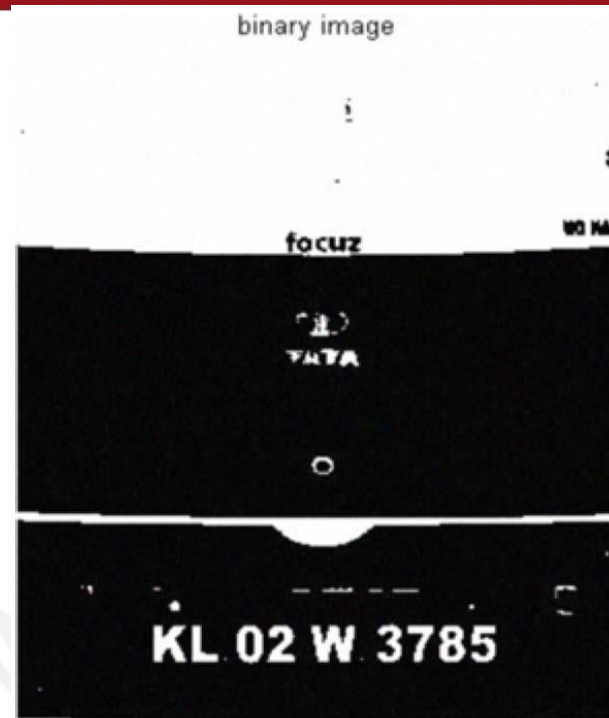


Imagen 1.3: Imagen a blanco y negro[10]

Conversión binaria (Binary conversión)

Conversión binaria es un proceso de transformación mediante el cual una imagen en escala de grises se transforma en una imagen binaria [1].

Esta conversión generalmente se realiza por el proceso de umbralizado (Image Thresholding) el cual en su forma más básica se soluciona transformando los píxeles por debajo de un nivel preestablecido a 0 o 1 y lo que están por encima en el opuesto. Este proceso e umbralizado puede ser realizado por algoritmos basados en las siguientes familias de métodos [2]:

- Usando píxeles de borde: Familia de métodos basados en histogramas donde se le aplica un operador laplaciano, el cual es un operador de bordes no direccional. Para esto, se le aplica a la imagen una convolución por una máscara determinada. Entonces en el histograma de la imagen se considerarán solo los niveles de grises con mayor laplaciano, considerando un percentil adecuado para un umbralizado eficiente considerando los bordes de la imagen para no perder detalle.
- Selección iterativa: Itera un thresholding simple basándose en la media aritmética de los píxeles de la imagen por encima y por debajo del umbral

inicial propuesto y repitiendo el método estimando el umbral en cada repetición hasta que no haya cambio entre dos iteraciones consecutivas.

- Error mínimo: Se considera a la imagen como una distribución probabilística de dos distribuciones (píxeles de objetos y de fondo). Esta distribución mayormente aproximada como una distribución normal, se presta para hallar una función objetivo a minimizar que produzca el error mínimo en la distribución.

Esta conversión se ve afectada por factores fuera de control en la imagen inicial, ya que una imagen está casi siempre expuesta a alguna clase de ruido:

Ruido de imagen

Todos los procesos de adquisición de imágenes están afectados a alguna clase de ruido que distorsiona la correcta interpretación de la imagen. Por su naturaleza aleatoria no hay forma exacta de predecir los efectos del ruido, este por su naturaleza puede ser categorizado en dos tipos:

- Ruido independiente de la señal: Se caracteriza, como su nombre lo indica, en no guardar relación con la imagen sino más bien ser una distorsión aleatoria usualmente caracterizada por una distribución gaussiana o normal [1]. Este ruido se distingue por parecer uniforme como se puede observar en *Img1.4* e *Img1.5*.



Fig 1.a. Original Image

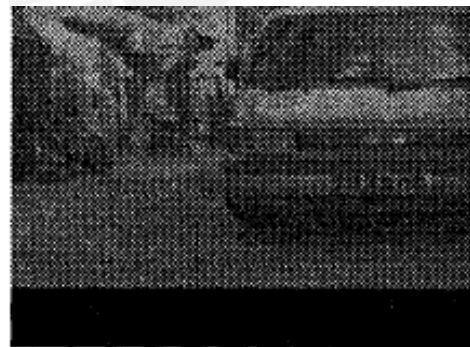


Fig 2.a. Noisy Image

Imagen 1.4 e Imagen 1.5: Imágenes con ruido aleatorio[11]

- Ruido dependiente de la señal: Dependiente de la data de la imagen, se presenta de diferentes maneras como por ejemplo distorsión debido al calor [6].

Image noise removal: Proceso de remoción de ruido en una imagen en un intento de reconstruir la imagen original a partir de una imagen perturbada a causa de ruido. Casi todos métodos actuales de detección de bordes incluyen una fase de remoción de ruido o dentro de sí mismos se ocupan de anular el efecto de este.

2.1.2.2 Pre-procesamiento de imágenes de placas de autos

Detección de bordes (Edge detection):

La detección de bordes es una de las operaciones de análisis de imágenes, además la literatura al respecto abunda más que casi cualquier otro tema [2]. Esto se debe a que los bordes son el bosquejo de los objetos contenidos en una imagen [2] y para éste problema de LPR es especialmente útil para diferenciar los bordes de la placa. Para el hallado de bordes se pueden distinguir las familias de métodos:

- Basados en operadores derivativos: Un borde es una variación en los niveles de gris de una imagen, entonces se pueden hallar aplicando operaciones de la primera y segunda derivada. Considerando que las imágenes a tratar son imágenes en dos dimensiones las operaciones con derivadas se convertirían en operaciones con derivadas en dos dimensiones, el operador involucrado en este proceso es el operador gradiente, un vector bidimensional.
- Basados en plantillas (template-based edge detection): La idea detrás de esto es usar modelos de bordes pequeños, discretos y de rápido procesamiento en vez de recurrir al operador gradiente directamente. En vez de recurrir a este operador, se utilizan matrices de convolución como las conocidas matrices de Sobel [3][4].

2.1.2.3 Detección de placas de autos

Análisis de variación de intensidad de tonalidad: Proceso de análisis de histograma por el cual se usa un barrido estilo scanner con el que se detectan variaciones rápidas de tonalidades en la imagen en una línea analizada. La variación indicará la ubicación de la placa tomando como consideración que la placa presenta una gran cantidad de variaciones de tonalidades de gris debido a los caracteres en ella. Esto implica un análisis por variación de histogramas como se aprecia en la imagen 1.6.

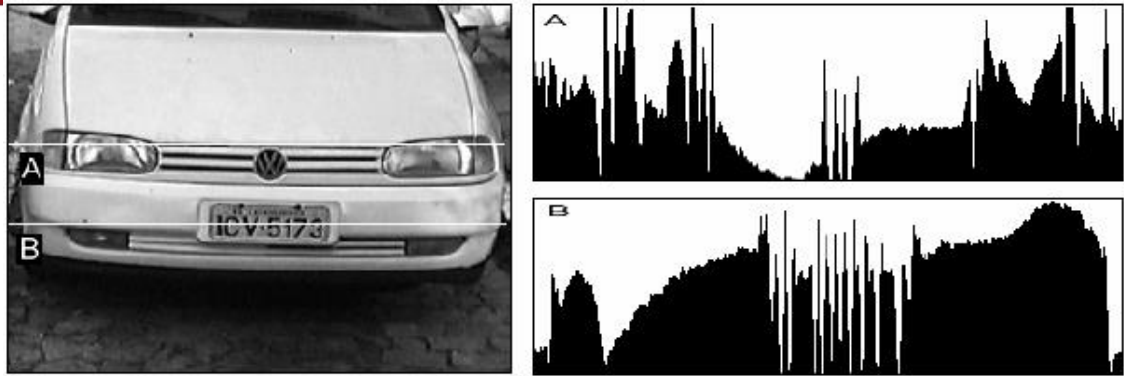


Imagen 1.6 obtenida de “RECONHECIMENTO DE PLACAS DE AUTOMÓVEIS ATRAVÉS DE CÂMERAS IP”, Universidade IMES-São Caetano do Sul (SP)

Análisis por clúster: Proceso de análisis de zonas identificadas en métodos anteriores, escogiendo la(s) zonas candidatas que se apeguen más a los parámetros que indiquen lo que se está identificando se trata de una placa. Este método puede generar falsos positivos; para filtrar esos casos se aplica el siguiente método:

Window filtering: Proceso de filtrado usado para eliminar alternativas obtenidas de procesos de búsqueda de zonas en las que se puede hallar más de una solución posible, debido a interferencia de áreas de similar estructura a la que se busca, pero que pueden ser filtradas por algún criterio generalmente se usan los criterios de eliminación por filtrado espacial y filtrado de frecuencia.

2.1.2.4 Normalización de placas de autos

Para el análisis de la imagen por parte del sistema de reconocimiento de caracteres es necesario preparar la imagen en un estándar mínimo de calidad de imagen. Es por ello que después de la etapa de detección se aplica una normalización que consta de diferentes procesos dependiendo de las condiciones que se esperan tener en la imagen original, aun después de haber pre-procesado la imagen para mitigar problemas como el ruido. Entre estos procesos de normalización resaltan dos relacionados a deformación de la placa debido a su orientación espacial:

Skew detection: Proceso en el cual se detecta una inclinación en una imagen de acuerdo a ciertos parámetros que indiquen que ciertamente la imagen está torcida un cierto ángulo de incidencia.



Imagen 1.7 obtenida de [12]

Placa antes de aplicar detección de inclinación



Imagen 1.8 obtenida de [12]

Placa después de aplicar detección de inclinación

Bilinear transformation: Método de transformación de una imagen delimitada por cuatro puntos, es decir un cuadrilátero cualquiera, a un rectángulo, lo cual es útil para corregir la deformación visual por inclinación de una imagen. Se observa la transformación en la Imagen 1.9.



Imagen 1.9 obtenida de "A license plate recognition system - The design of a license plate recognition system for Dutch license plates", R.J. De la Haye

2.1.3 Otros conceptos

Convolución de una imagen: Se trata de una operación a nivel de píxel de una imagen en la que cada píxel es afectado por una función específica. Para este problema de tipo LPR los tipos de convoluciones a usar son de tipo de filtro; esto es, se le aplica al píxel una operación que guarde relación con los píxeles aledaños.

Una convolución de tipo filtro es la que se aplica al efectuar el producto matricial entre sub-matrices de la imagen y una matriz fija, llamada matriz de convolución, para hallar el valor escalar de cada pixel, tomando cada pixel como centro de la sub-matriz. En la imagen 1.10 se observa el producto matricial sobre un pixel de una imagen.

Por ejemplo:

| Valores de color de los pixels de la imagen | | | | | | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 48 | 39 | 66 | 220 | 142 | 40 | 222 | 98 | 58 | 147 | 160 | 194 | |
| 27 | 181 | 245 | 97 | 26 | 96 | 142 | 127 | 172 | 234 | 197 | 44 | |
| 72 | 183 | 82 | 221 | 118 | 142 | 251 | 68 | 23 | 44 | 194 | 210 | |
| 250 | 161 | 14 | 105 | 53 | 156 | 22 | 5 | 173 | 165 | 10 | 147 | |
| 207 | 192 | 233 | 140 | 97 | 246 | 140 | 24 | 81 | 24 | 230 | 102 | |
| 122 | 113 | 70 | 215 | 197 | 26 | 11 | 82 | 240 | 168 | 254 | 226 | |
| 247 | 18 | 236 | 0 | 59 | 20 | 248 | 126 | 21 | 194 | 17 | 9 | |
| 48 | 15 | 73 | 180 | 150 | 58 | 166 | 35 | 201 | 127 | 163 | 23 | |
| 14 | 90 | 204 | 27 | 185 | 53 | 82 | 109 | 194 | 162 | 248 | 103 | |

| Matriz de convolución | | |
|-----------------------|----|---|
| 1 | -2 | 1 |
| 2 | -3 | 0 |
| 3 | -1 | 0 |

| | |
|---------------|----|
| multiplicador | 1 |
| offset | 83 |

| |
|-----------------|
| 118 x 1 = 118 |
| 53 x 2 = 106 |
| 97 x 3 = 291 |
| 142 x -2 = -284 |
| 156 x -3 = -468 |
| 246 x -1 = -246 |
| 251 x 1 = 251 |
| 22 x 0 = 0 |
| 140 x 0 = 0 |
| -232 |

Nuevo valor del pixel= -232 x 1 + 83 = **-149**

Imagen 1.10 extraída de <http://www.rinconastur.com/php/images/convolucion.jpg>

2.2 Marco regulatorio / legal

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) presenta un documento de clasificación, codificación y especificaciones técnicas para la regulación de placas nacionales. Este documento, llamado Reglamento de placa única nacional de rodaje [14], especifica que las placas se clasificarán dependiendo del tamaño y uso del vehículo, siendo la primera clasificación por vehículos ligeros y pesados, y la segunda por su uso, ya sea transporte urbano, de mercancías, policial, de emergencia, entre otras. Para cada clasificación se usará una placa de distinto color y características.

A continuación se muestran las posibles placas que se pueden encontrar en la regulación de placa única de rodaje. Se detalla el uso de cada una en el anexo.

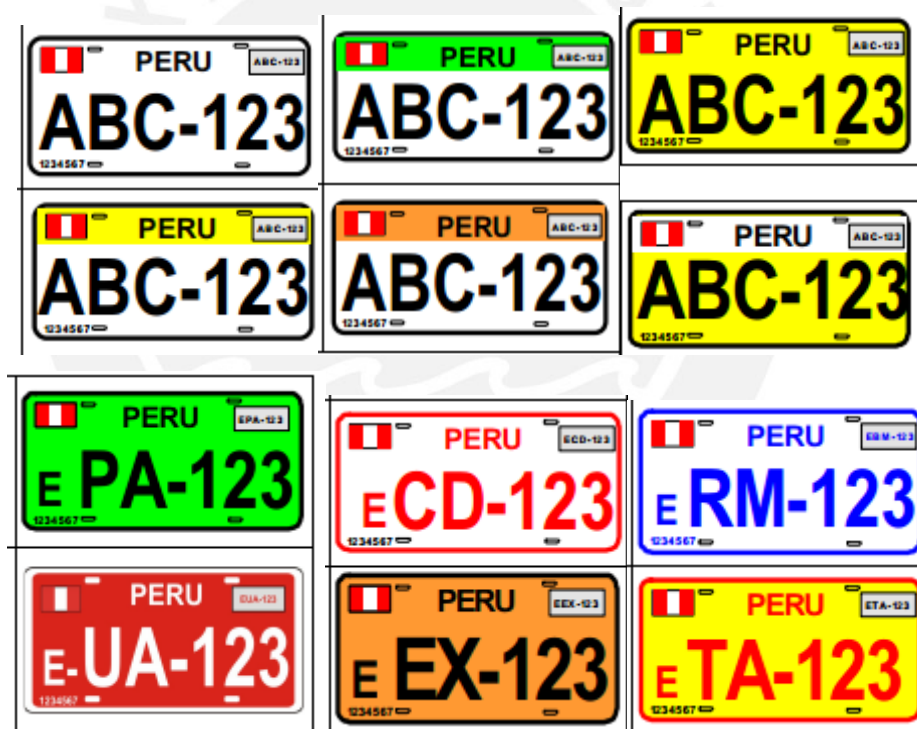


Imagen 1.11. Información e imágenes obtenidas de [14]

3 Estado del arte

En esta sección se mostrará el estado del arte del problema de detección de placas, esto incluye la las tecnologías actualmente aplicadas al entorno y en desarrollo.

3.1 Formas exactas de resolver el problema

Las formas de resolver este problema son limitadas debido a la naturaleza cambiante del entorno, específicamente para la realidad peruana no existe una forma exacta de resolver el problema. Se podrían considerar soluciones aproximadas a las soluciones implantadas exitosamente en otros países que cuentan con parámetros más controlados legalmente y de entorno.

Por ejemplo, la empresa Genetec brinda soluciones de LPR a través de su software AutoVu, el cual es usado en parte para las agencias de la ley (Law-enforcing) usando Fuzzy matching para evitar problemas reales como lo son la suciedad o la nieve acumulada en las placas al igual que la deformación por velocidad, y el posible cubrimiento parcial de las placas. *(información obtenida de su página web <http://www.genetec.com/solutions/all-products/autovu> al 21/04/2013)*

3.2 Formas aproximadas de resolver el problema

Se logra resolver este problema utilizando las técnicas anteriormente mencionadas, mediante experimentación para hallar valores de desviación o variables de relajación más adecuadas de acuerdo al contexto en el que se encuentra el problema.

La propuesta de estandarización de placas facilita la construcción e implantación de sistemas como este, como ejemplo de la implantación exitosa en otros países se muestran los productos comerciales existentes.

3.3 Productos comerciales para resolver el problema

Se han implementado variedad de productos relacionados al problema de reconocimiento de placas en el extranjero. Estos productos se caracterizan por su adaptación al entorno en el que trabajan, es decir los sistemas tienen que ser modificados de país en país para su correcta implantación.

Matrix

Empresa que ofrece distintas soluciones basadas en LPR para resolver distintas necesidades de seguridad o control vehicular.

La descripción de sus productos según su página web (<http://www.anpr.hu/about-us/>) al 20 de abril del año 2013 indicó:

- Desarrollada especialmente para control de acceso de puerta de entrada, autopistas y funciones estratégicas importantes de carretera.
- Tuvo proyecto de instalar un sistema de control en una frontera de Hungría, el cual documentaba y verificaba todas las entradas y salidas de vehículos.
- Usado por la policía de su país.
- Proporciona soluciones móviles de ALPR

Jenoptik

Empresa que brinda soluciones de vigilancia además de hardware especializado para el asunto, entre uno de sus productos se encuentra su sistema ALPR Trafficapture.

Según su página web (<http://www.jenoptik.com/en-automatic-numberplate-recognition-systems-trafficapture>) al 20 de abril del año 2013 se indica:

- Su software Trafficapture permite rápida y flexible comparación de data identificable.
- Funciona en tiempo real y utiliza sensores especiales.
- Guarda toda la información importante de un vehículo (tiempo, GPS posición, placa, razón de búsqueda) junto con la imagen de la placa.
- Respeta regulaciones de protección de data usando un almacenamiento temporal, no se guarda permanentemente.

EuroTech

Sistema Automatic License Plate Recognition (ALPR) SekuPLATE el cual es un sistema basado en comunicación a través de red usando cámaras IP

Según su página web (<http://www.eurotech.com/en/products/SekuPLATE>) al 20 de abril del año 2013, se mencionó:

- SekuPLATE monitorea automáticamente el tránsito de vehículos a través de peajes, accesos de pasajes, áreas de parqueo y otras aplicaciones donde se necesita asociar inteligentemente los permisos y el vehículo.
- Es adecuado para entornos difíciles debido a su protección de rango de temperatura y diferentes opciones de montaje. Incluye un iluminador IR para entornos con baja iluminación.
- Utiliza cámaras especiales de alta velocidad que registran hasta 290 Km/h
- Es posible de adquirir tanto en arquitecturas tradicionales de TI como una versión de la solución en la nube.

3.4 Productos no comerciales (de investigación) para resolver el problema

Entre los productos no comerciales destaca CARMEN® un motor de detección de placas (LPR) el cual se tiene dos presentaciones, una para necesidad de eficiencia y otra ligera para velocidad y modificación con posibilidades ilimitadas. Provee un SDK adaptable a diferentes entornos de programación que hace una alternativa atractiva para solucionar este problema.

- Es un motor de ALPR de alto desempeño y calidad para compañías que deseen construir sus sistemas basados en detección automática de placas vehiculares.
- Existen dos versiones
 - CARMEN® Parking, una solución de costo eficiente para sistemas de entrada vehicular y control de acceso.
 - CARMEN® Freeflow, es un motor de ALPR de propósito general. Ideal para procesamiento de imágenes en movimiento procesamiento de alta resolución y de alto rango dinámico de imágenes vehiculares.

3.5 Problemas relacionados

Entre los problemas relacionados se incluyen los de reconocimiento de placas para control de tráfico, variante en la que la detección debe considerar aún más la distorsión de la imagen por movimiento. Además se tiene que usar diferentes software y hardware para la implementación ya que el contexto requiere tomas de imágenes en alta velocidad o en distintas situaciones de iluminación y ambiente.

3.6 Conclusiones sobre el estado del arte

En el estado del arte se puede observar la gran cantidad de productos actualmente ofrecidos e implantados en diferentes países considerando uno o más problemas con respecto a la detección de la placa, más la preocupación de la mayoría de estos es el reconocimiento de caracteres. Esta tesis plantea una solución de reconocimiento de placas bajo condiciones controladas pero dejando problemas reales sin alterar o suponerlos. Esta es implementada a una realidad caótica en el sentido que no se cuenta con un estándar fijo acogido en su totalidad aún, dificultando el desarrollo del problema al diversificar aún más las placas. A pesar de los problemas propuestos por el entorno en este trabajo se hallará una solución en un entorno con diferentes factores de error.

Lo que diferencia esta propuesta con las existentes actualmente en el mercado es la posibilidad de aplicación a nuestro país, además de intentar ser una alternativa económica para la solución eficiente del problema, la cual no existe en el mercado peruano.

CAPÍTULO 2: Finalidad del proyecto

1 Objetivo general

Desarrollar e implementar un sistema de detección y reconocimiento automático de placas vehiculares para el acceso de visitas autorizadas a un edificio.

2 Objetivos específicos

- 2.1 Adaptar y programar los algoritmos de mejora de imágenes (detección de bordes)
- 2.2 Adaptar y programar los algoritmos de detección de líneas (Hough transform) y de contornos (Contour) para la localización de las posibles zonas donde se encuentra la placa de rodaje.
- 2.3 Integrar heurística de filtrado de zonas para descartar falsos positivos en la localización de la placa
- 2.4 Integrar un algoritmo, módulo o software OCR (Optical character recognition) ya existente que pueda usar como input el resultado del objetivo 3 (localización de placa).
- 2.5 Validación y evaluación del prototipo integrado de reconocimiento de placas.

3 Resultados esperados

- R1-O1: Módulo(algoritmo) de pre-procesamiento de imagen para la detección de la placa
- R2-O2: Módulo (algoritmos) integrado de detección de posibles zonas de placas con el modulo del Resultado 1.
- R3-O3: Módulo (algoritmo) de filtrados de zonas obtenidas del Resultado 2.
- R4-O3: Prototipo integrado de detección de placas en video.
- R5-O4: Prototipo de prueba integrado con el resultado 4 con el módulo OCR.
- R6-O5: Reporte de validación y evaluación.

4 Herramientas, métodos y procedimientos

4.1 Mapeo

| Resultados esperado | Herramientas a usarse |
|--|--|
| RE1: Modelo algorítmico de pre-procesamiento de imágenes de placas y para el procesamiento de la localización de placas. | -Matriz de valoración -Metodología basada en experimentación de otros autores |
| RE2, RE3: Plataforma integrada de reconocimiento de placas. | -Algoritmos de pre-procesamiento de imágenes que la mejoren para un proceso de detección más eficiente -Algoritmos de detección de placa vehicular en la imagen -Librerías OpenCV 2 para C++ |
| RE3, RE4: Prototipo de reconocimiento de placas en imágenes | -Programación orientada a objetos |
| RE5: Reporte de validación y evaluación | -Pruebas de validación de detección -Pruebas estadísticas |

4.2 Matriz de valoración

Se utilizará una matriz de decisión para evaluar las soluciones propuestas por autores a distintos problemas incluidos en el reconocimiento de placas. Se compararán los problemas que se identifican, así como también la extensión de las soluciones que se han propuesto, para encontrar el(los) método(s) que son aceptados como los adecuados para resolver el problema. Se valorará cada método propuesto basado en factores de tiempo necesario para implementar la solución, complejidad algorítmica, porcentaje de éxito de la solución y relación de la solución propuesta por el autor con el problema específico tratado en este proyecto.

4.3 Metodología basada en la experimentación previa de otros autores

Existe una variedad de soluciones propuestas para el problema de la detección de placas las cuales recogen métodos diferentes que sirven para distintos aspectos del problema. Usando la matriz de valoración se escogerán distintos métodos que resulten adecuados para el proceso de detección de placas. Se planteará una

metodología que integre estos métodos identificados, basada en propuestas con resultados verificados hechas por distintos autores. Se utilizará esta metodología debido a que no existe una formalmente aceptada para resolver el problema, entonces se intentará hacer un compilado de los métodos que resulten convenientes para el contexto de este proyecto.

Esta metodología se basa en 3 etapas principales de las cuales se pueden extraer distintos métodos posibles para aplicar:

- Pre-procesamiento
 - Transformación a escala de grises
 - Remoción de ruido
 - Procesamiento para extracción de bordes
 - Binarización de la imagen
- Localización de la placa
 - Detección por detección caracteres
 - Detección por reconocimiento de rectángulos
- Reconocimiento de contenido
 - OCR (No se implementará, solo se usará)

De entre estos métodos se escogerán los más adecuados según el criterio impuesto en la matriz de valoración para luego escoger y adaptar los algoritmos que finalmente se utilizarán.

4.4 Algoritmos a utilizarse

Se escogerán algoritmos correspondientes para cada uno de los métodos escogidos para pre-procesamiento, localización de la placa y para el reconocimiento del contenido. Los algoritmos se basarán en métodos reconocidos como útiles para la subdivisión del problema que traten. Los algoritmos escogidos se explicarán con mayor detalle en los siguientes capítulos.

4.5 OpenCV 2

OpenCV (Open Source Computer Vision) es una librería de funciones para la programación de visión por computadora en tiempo real.

Según su página web (<http://opencv.org/>) al 08 de junio del año 2013:

“OpenCV is released under a BSD license and hence it’s free for both academic and commercial use. It has C++, C, Python and Java interfaces and supports Windows, Linux, Mac OS, iOS and Android. OpenCV was designed for computational efficiency and with a strong focus on real-time applications. Written in optimized C/C++, the library can take advantage of multi-core processing. Adopted all around the world, OpenCV has more than 47 thousand people of user community and estimated number of downloads exceeding 6 million. Usage ranges from interactive art, to mines inspection, stitching maps on the web or through advanced robotics.”

Se decidió usar OpenCV por su condición de tener licencia BSD libre para uso académico y por su facilidad de implementación de las funciones necesarias para el desarrollo de este proyecto [3].

4.6 Programación orientada a objetos

Se utilizara el paradigma orientado a objetos para el desarrollo del producto propuesto por este proyecto debido a la necesidad del nivel de abstracción. Se requerirá abstraerse para representar una imagen, sus transformaciones y los productos intermedios de los procesamientos de manera limpia, entendible y reusable. Además, las librerías ofrecidas por OpenCV ofrecen una estructura basada en objetos. Se utilizará el lenguaje de programación C++.

5 Alcance

El alcance de este proyecto incluirá el desarrollo de un algoritmo de detección de placas vehiculares peruanas, modulado en las etapas básicas señaladas anteriormente. A continuación se presentará el alcance representado por las limitaciones presentes en el proyecto al igual que los riesgos que puedan aparecer.

5.1 Limitaciones

Se han identificado dos grupos de limitaciones principales que tendrán impacto en el proyecto. Estos son las limitaciones que afectan el proyecto desde el punto de vista del manejo del proyecto y las que lo afectan desde el punto de vista de la solución algorítmica.

5.1.1 Limitaciones con respecto al proyecto

- Tiempo necesario para la implementación: Se necesitará tiempo de implementación utilizando herramientas nuevas de las cuales se cuenta con experiencia previa limitada, lo cual será un factor limitante para el uso de distintas herramientas que requieran un tiempo de comprensión e implementación mayor.
- Data de prueba: Se requieren muestras de data significativas para el desarrollo de este proyecto, las cuales no están disponibles a través de otro medio más que por levantamiento directo. Será necesario recoger las muestras de datos personalmente; estas muestras serán fotografías de placas de vehículos en las condiciones adecuadas al problema en iluminación, distancia a la cámara y ángulo de captura. Entonces el volumen de data de prueba será reducido y limitado a lo que se pueda recoger con este método.
- Estándar de placas nacionales impuesto por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC): Se limita las placas posibles a procesar a las placas mostradas en el documento de placa única nacional[9].

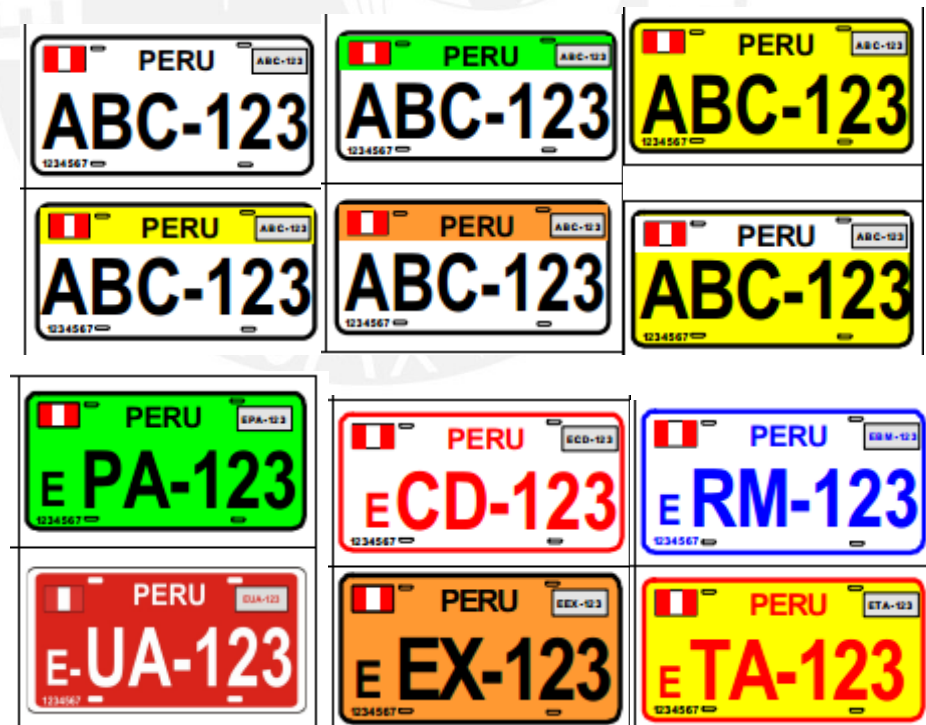


Imagen 2.1. Estándar impuesto por el MTC[14]

- Variedad de tipos de placas peruanas: El MTC declara distintos tipos de placas dependiendo de una clasificación de los vehículos por grupo[9]. Se delimitará a analizar las placas blancas y amarillas por ocupar aproximadamente el 72% del parque vehicular y de placas emitidas a nivel nacional (ver anexo 2), siendo estas placas las usadas para vehículos livianos y pesados, transportes de mercancías y remolques y semirremolques, mientras que el resto corresponden a placas policiales, de emergencia, entre otros tipos de placa especiales [15][16] (ver anexo 1).

5.1.2 Limitaciones con respecto a la solución algorítmica propuesta

- Ubicación de la placa en el carro: Una ubicación aleatoria (centro o extremos) de la placa en la imagen presenta una mayor dificultad algorítmica y de procesamiento al intentar localizar la placa[6][7], por lo cual se limitará el alcance a imágenes donde las placas se localicen en una posición centrada.
- Color de imágenes: La transformación de una imagen en formato a color a escala de grises es un problema separado por si misma[4], por ello se delimitará el alcance a procesar solo imágenes capturadas en escala de grises[1][2].
- Iluminación natural tenue: El proyecto se limitará a una iluminación natural tenue debido a las condiciones climáticas del entorno donde se implantaría la solución propuesta por este proyecto[4][8].
- Ubicación fija en un ángulo determinado: El proyecto se limitará a posiciones de placas orientadas directamente a la cámara, es decir la imagen mostrará la placa en posición frontal directa a la cámara debido a necesidades de procesamiento mayor en caso contrario[8][4].

5.2 Riesgos

Se presentan los riesgos identificados con impactos más relevantes en el desarrollo del proyecto.

| Riesgo identificado | Impacto en el proyecto | Medidas correctivas para mitigar |
|---|---|--|
| Alcance muy amplio del proyecto | Finalización incompleta del proyecto | Constante delimitación del proyecto |
| Alta necesidad de programación usando técnicas poco conocidas | Producto final incompleto o inservible, debido a falta de tiempo | Desarrollar desde la etapa de planeamiento para conocer mejor las técnicas. |
| Matriz de valoración con costos erróneos debido a la falta de conocimiento completo del tema. | Replanteamiento de los métodos utilizados | Consideración de la mayor cantidad de factores significativos posibles al momento de asignar valoraciones. |
| Muestras de datos de prueba reducidas | Falta de muestras significativas y gran cantidad de tiempo dedicado a recolección de data de prueba | Muestreo constante de los carros. |

6 Justificación y viabilidad

6.1 Justificativa del proyecto de tesis

Este proyecto de tesis presenta dos vías principales de justificación, su valor, práctico y teórico.

6.1.1 Implicaciones prácticas

Este proyecto está orientado a generar un producto final utilizable en un ámbito real. El producto aspirará a automatizar el proceso de ingreso vehicular de visitantes a un edificio. Este intentará ayudar tanto en el aspecto del tiempo necesario para el ingreso como en el inconveniente de tener que contactar a un empleado del edificio para confirmar su autorización de acceso al edificio.

Asimismo, el software resultante posee potencial de aplicación en distintos entornos. Considerando que el proyecto plantea como principal restricción el reconocimiento de placas peruanas, el software producto se adaptaría sin mayor dificultad a distintos entornos con necesidades similares. Los casos en los que se puede aplicar incluyen ingresos a colegios, para mejorar la seguridad de su acceso; peajes, para velocidad de atención; y controles de seguridad policíacos y oficinas, para un control estricto del ingreso a sus instalaciones privadas.

En conclusión, como aplicación práctica este proyecto ofrece una solución delimitada para el entorno en el que se quiere desplegar. Además, ofrece adaptabilidad a distintos entornos con necesidades similares, de velocidad en el control de acceso y seguridad, utilizando el reconocimiento de placas peruanas.

6.1.2 Implicaciones teóricas

El valor teórico de este proyecto se manifiesta en la metodología que utilizará. Dicha cualidad se presenta en la experimentación basada en el uso y combinación de formas de dividir en etapas el problema principal de reconocimiento de placas vehiculares. Luego, se escogerán distintos métodos para cada etapa utilizando como referencia la experiencia previa de autores publicados y aplicarlos según sea necesario. Finalmente, de entre los métodos escogidos se evaluará la idoneidad de cada método y el acoplamiento entre estos. Con esta metodología se presenta una nueva combinación de métodos para un escenario particular del problema, con el objetivo de obtener un resultado aplicado en un entorno en el cual no se han implementado.

En resumen, el valor teórico se manifiesta en el uso de distintos métodos existentes para la creación de una nueva solución con el objetivo de aplicarla en un entorno donde no se ha implementado una solución de este tipo.

6.2 Análisis de viabilidad del proyecto de tesis

A continuación se expondrá la viabilidad del proyecto, explicando en base a un análisis de necesidades. Sobre este análisis se hallarán la viabilidad técnica, temporal y económica, puntos que ilustran por qué razones el proyecto de tesis a desarrollarse es viable.

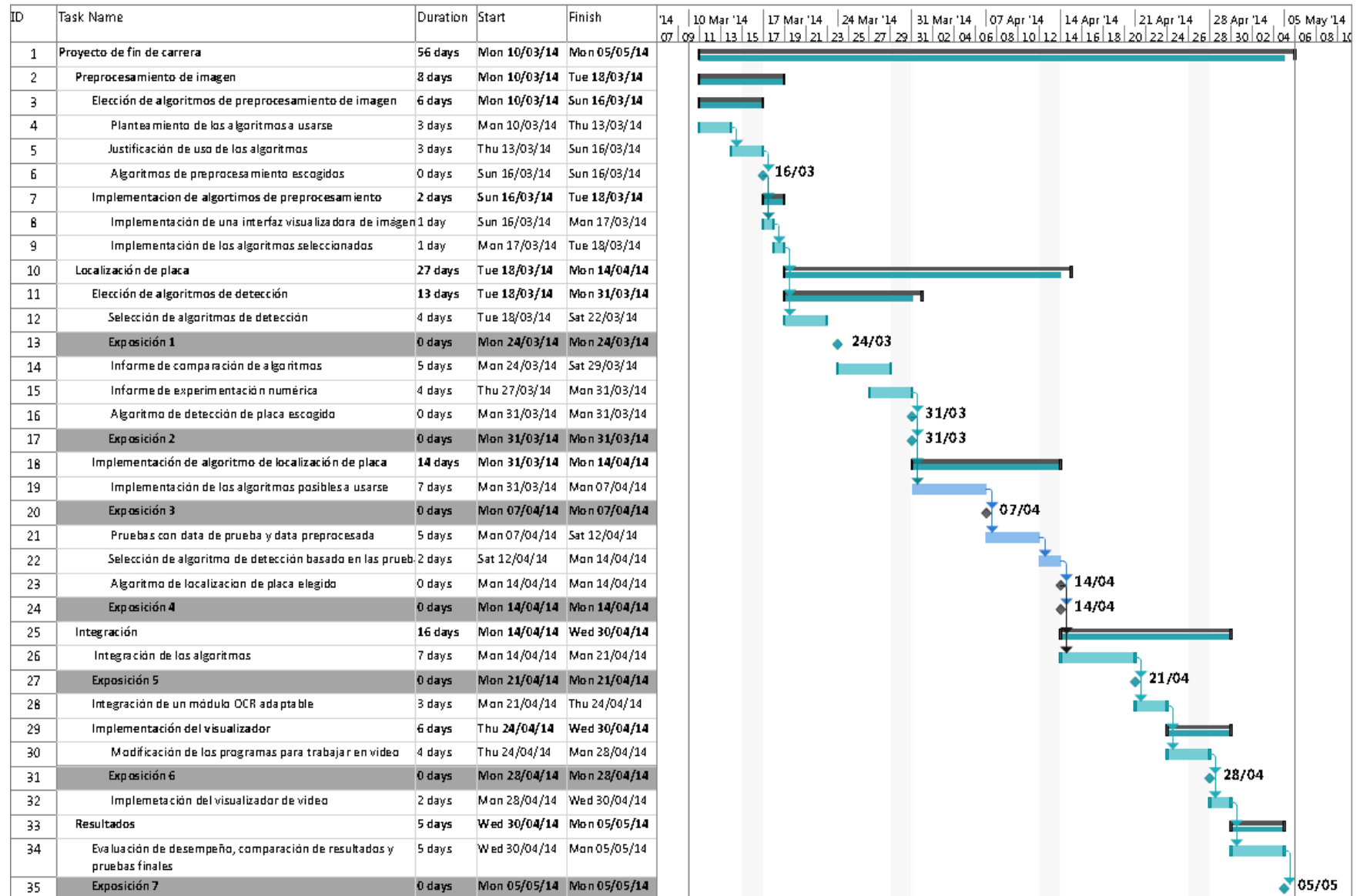
En el análisis de necesidades se identificaron los requerimientos principales para el adecuado desarrollo del proyecto. Estos requerimientos se clasifican en recursos físicos y recursos algorítmicos.

Sobre los recursos físicos cabe resaltar que los recursos mínimos necesarios son los recursos para recolección de datos y los recursos para implementación y pruebas. Entre los recursos necesarios para la recolección de datos solo se encuentran cámaras fotográficas y de video, ambas de resolución promedio para el mercado actual. Asimismo, los recursos para implementación y pruebas son solo una computadora en la que se pueda programar programas utilizando librerías de OpenCV, y correr los mismos programas implementados, lo cual no requiere de equipos especializados que puedan causar un impacto en el presupuesto del proyecto. Por lo tanto, económicamente es viable puesto que no genera mayor gasto, por no necesitar mayores recursos que con los que se cuenta actualmente.

Sobre los recursos algorítmicos se tienen necesidades de documentación tanto para los algoritmos a implementar como de la herramienta a utilizar para programarlos. Además, es necesario poder contar con las herramientas de software en primer lugar. Estas necesidades afectan a la viabilidad temporal del proyecto debido a que es necesario obtener las herramientas y la documentación. En este caso, la herramienta principal a utilizarse para la implementación es de licencia libre, con manejo y accesibilidad de documentación pública, lo que aminora el efecto en el tiempo necesario para obtener las herramientas y documentación. Debido a estas razones, la viabilidad temporal del proyecto no se ve afectada en gran medida por las necesidades identificadas para el proyecto.

Debido a la metodología que se utilizará, los algoritmos que se usarán en el proyecto estarán sustentados por publicaciones académicas reduciendo el riesgo de seleccionar algoritmos cuyo uso no sea viable para resolver el problema. Esto es, los algoritmos seleccionados tendrán una menor posibilidad de no aportar a la solución final del problema y también un menor riesgo de que la integración de estos no solucione el problema final. Entonces, se obtiene que el proyecto es viable según el aspecto técnico, ya que tiene una base sólida sobre una variedad de investigaciones académicas en el tema que lo respaldan.

7 Plan de actividades



CAPÍTULO 3: Pre-procesamiento de la imagen

En este capítulo se discutirá la primera fase propuesta del algoritmo, la etapa de pre-procesamiento.

1. Pre-procesamiento para detección

En la etapa de pre-procesamiento se preparará la imagen para su futuro procesamiento. Se requiere de un método que modifique la imagen de tal manera que los bordes de la placa puedan ser claramente identificables. Debido a las necesidades descritas se optó por el siguiente procedimiento:

a. Mejora de contraste

Se realizó una mejora del contraste de la imagen utilizando la técnica de ecualización de histograma. Usando este método se obtiene un mejor contraste pues se intenta tener una distribución uniforme en el histograma de niveles de gris de la imagen y al transformar los niveles de gris se incrementa el diferencial de tonalidades de gris entre píxeles de diferente tono haciendo los bordes más notorios. Se expande el dominio de los niveles de gris desde 0 hasta 255 basándose en el número de apariciones de las tonalidades para hallar su separación en la nueva distribución.

Procedimiento:

1. Obtener el histograma H de la imagen
2. Obtener la función de distribución acumulada FDC
 Para todo nivel de intensidad de gris n_i presente en la imagen (ordenados ascendentemente)

$$FDC[n_i+1] = FDC[n_i] + H[n_i]$$
3. Aplicar la función de ecualización Fec a todos los píxeles de la imagen.
 Siendo N el número de píxeles en la imagen, la función viene dada por

$$Fec(i) = \frac{(FDC[i]-FDCmin)}{N-FDCmin} * 255$$

b. **Detección de bordes**

Para la detección de bordes se usó uno de los métodos más conocidos y usados debido a su comprobada efectividad para este tipo de trabajos, la Detector de bordes de Canny (Canny edge detector). Este método, el algoritmo de Canny, utiliza un filtro gaussiano para eliminar el ruido de la imagen que pueda interferir con la identificación de bordes, además de aplicar umbralización con histéresis, lo que lo hace especialmente efectivo en comparación con métodos de umbralización más simples ya que elimina bordes débiles que podrían ser ocasionados por ruido.

Es un algoritmo muy utilizado en el procesamiento de imágenes, su metodología consta de los siguientes pasos:

1. Suavizado: Se remueve el ruido haciendo un desenfoque o blurring.
2. Encontrar las gradientes: Se marcan los bordes donde las gradientes de la imagen tienen gran magnitud
3. Supresión de no máximos: Solo los máximos locales se consideran bordes.
4. Doble umbralizado o thresholding: Bordes potenciales son determinados fijando los umbrales
5. Rastreo de bordes por histéresis: Los bordes finales son seleccionados eliminando todos los bordes que no estén conectados a un borde "fuerte"

Para utilizar el método de Canny se necesitan dos valores threshold, uno bajo y uno alto (low and high threshold) los cuales son necesarios para aceptar o no un pixel como borde al compararlo con la gradiente del punto. Se realizó un pequeño experimento con 60 imágenes para determinar los valores threshold adecuados para ejecutar Canny pudiéndose detectar la placa.

La tabla siguiente muestra el número de imágenes donde se pudo detectar al menos un cuadrilátero conteniendo la placa.

| | | High threshold | | | | | |
|---------------|----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 |
| Low threshold | 55 | 48 | 47 | 46 | 44 | 45 | 43 |
| | 45 | 48 | 47 | 46 | 44 | 45 | 43 |
| | 35 | 48 | 48 | 48 | 45 | 46 | 44 |
| | 25 | 59 | 46 | 46 | 45 | 46 | 44 |
| | 15 | 55 | 47 | 46 | 45 | 46 | 45 |
| | 5 | 48 | 48 | 47 | 47 | 48 | 46 |

Tabla 3.1: Detalle de los éxitos por combinación

De la tabla, resaltan dos combinaciones de bajo y alto threshold: (15,140) y (25,140). Cuantitativamente, la segunda opción presenta una mejor probabilidad de ser el valor adecuado para usarse. Además, cualitativamente, las imágenes resultantes de aplicar Canny con la segunda combinación presentan una distinción de eliminar una pequeña cantidad de ruido de la imagen, casi imperceptible pero posiblemente útil. Por esos dos factores se escogerán los valores threshold de Canny (25,140) respectivamente.

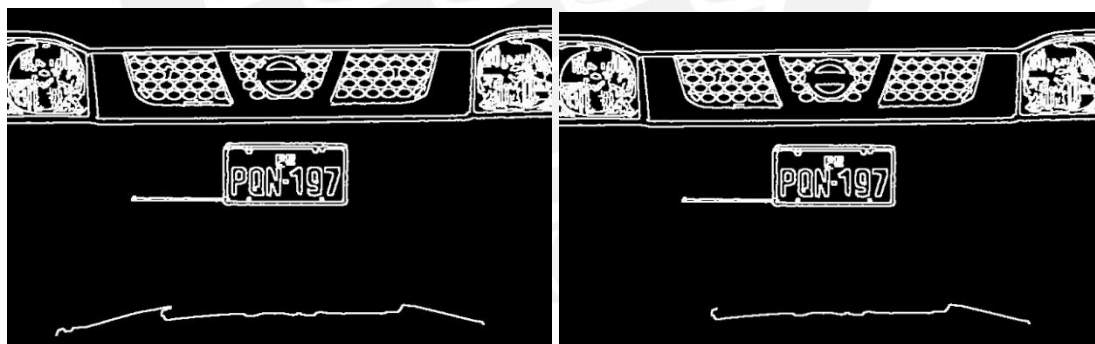


Imagen 3.1 e Imagen 3.2: Valores threshold (15,140) y (25,140) aplicados a la misma imagen respectivamente.

Adicionalmente se aplicará, previo a la aplicación del algoritmo Canny, un desenfoque para eliminar el ruido y mejorar el desenvolvimiento del mismo. El desenfoque será un simple desenfoque usando un “normalized box filter” con un núcleo de 3 por 3.

Después de la aplicación del algoritmo Canny, se aplicará la operación morfológica de dilatación. Esta determina la forma del vecindario de pixeles de donde se obtiene el máximo.



Imagen 3.3. Imagen original

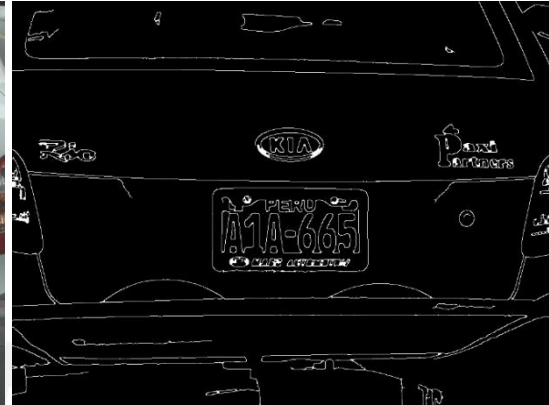
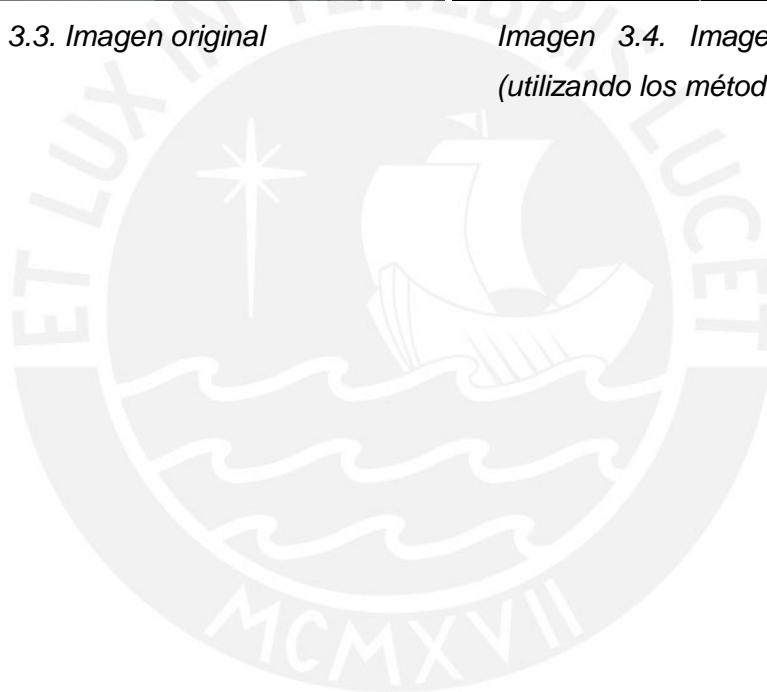


Imagen 3.4. Imagen pre-procesada
(utilizando los métodos descritos)



CAPÍTULO 4: Detección de la placa

En el presente capítulo se discutirá el proceso de detección de zonas candidatas a ser la placa vehicular presente en la imagen.

2. Detección de la placa

Después de haber acondicionado la imagen, se continúa con la localización de posibles zonas donde se pueda encontrar la placa de rodaje. Para este desarrollo se utilizó el método de contornos (Contour) en conjunto con la transformada de Hough para la detección de zonas cuadrilaterales donde una de ellas potencialmente es la placa de rodaje del vehículo.

a. Algoritmo de Contour

Este método localiza objetos en la imagen a través de la búsqueda de contornos. Busca píxeles de borde escaneando toda la imagen y “sigue” estos píxeles hasta que terminen, encontrando así todos los contornos presentes en la imagen. Se busca que, utilizando este método, uno de los contornos hallados sea el de la placa

El método de Contour que se usará es el incluido en opencv2 que se basa en el algoritmo propuesto por Suzuki y Abe[18].

1. Escanea toda la imagen secuencialmente hasta encontrar un punto (i,j) que satisfaga la condición para ser considerado el punto de inicio de un borde exterior o de un borde de agujero.
2. Asigna un número identificador único al nuevo borde encontrado.
3. Durante el escaneo se guarda el último identificador hallado; usando este borde memorizado, se puede hallar el contorno padre ya que este es el identificador del contorno padre o un contorno que comparte padre con el borde actual.
4. Sigue el borde hallado desde su punto de inicio marcando los píxeles pertenecientes a este.

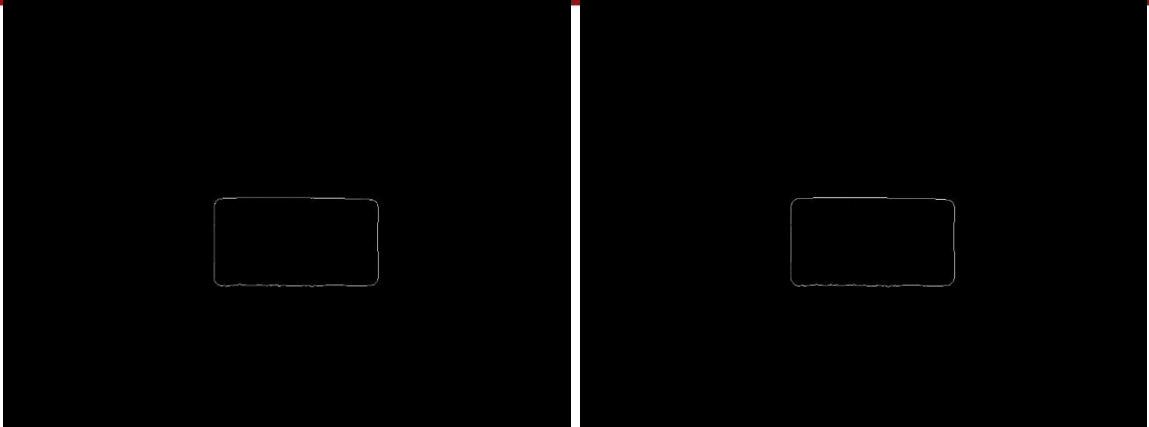


Imagen 4.1 e Imagen 4.2: Contornos similares encontrados pertenecientes a la placa de la imagen 3.3, aislados de los demás contornos.

Adicionalmente, se filtrarán los contornos a ser procesados según su tamaño para evitar procesar contornos de elementos mayores como el contorno del mismo automóvil. Para este filtro se impondrá la limitación que las placas no ocuparán más de un cuarto del área de la imagen y que el alto de las mismas no será mayor de un tercio de la imagen total. En la imagen 4.3 se muestran los contornos que pasaron este filtro.

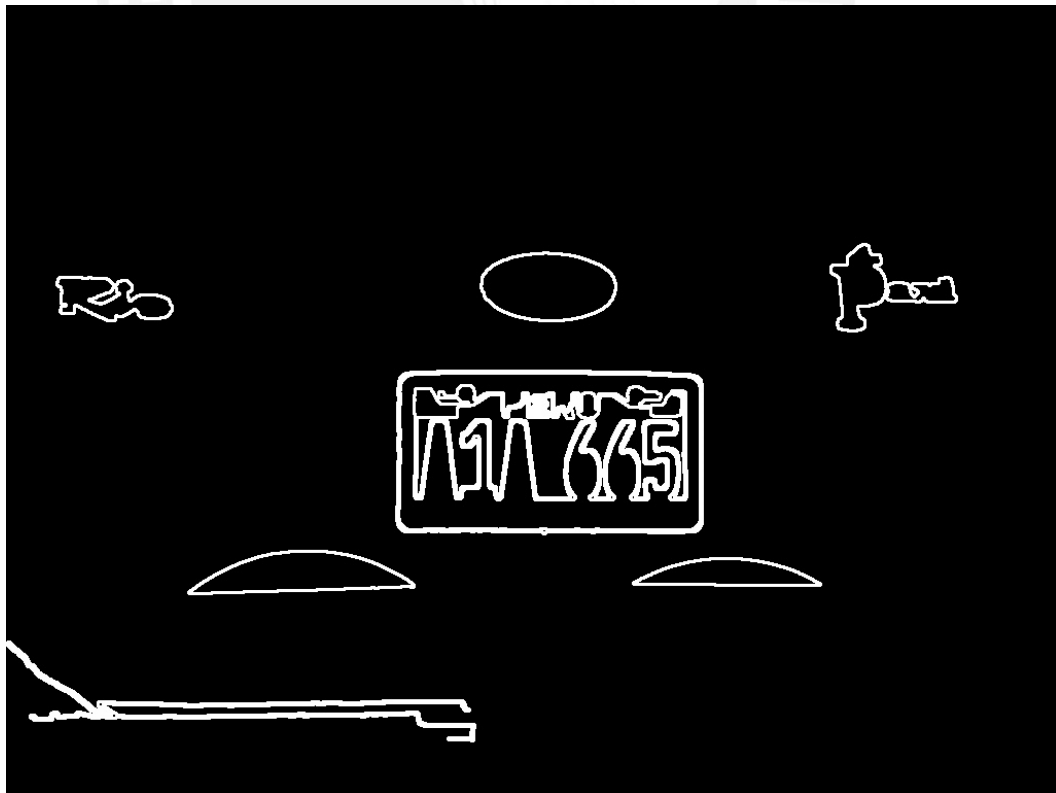


Imagen 4.3. Todos los contornos ya filtrados dibujados en una sola imagen

b. Transformada Hough

La transformada de Hough puede ser usada para la identificación de ciertas clases de figuras en imágenes, su aplicación tradicional es la localización de líneas rectas y es precisamente la aplicación que se le usará para la identificación de las placas a través de su contorno. Este método busca rectas por un proceso de votación al hallar todas las rectas que pasan por un punto, utilizando coordenadas polares, y contando los puntos que coinciden con éstas para considerarlas rectas. A este método se le entrega como parámetros el número de votos mínimo para considerar recta a una línea. Originalmente se le entrega a este método una imagen binaria donde se distingue los bordes del fondo.

Procedimiento original:

1. Inicializar $H[d, \theta]=0$; H es el arreglo acumulador
2. Para cada punto $I[x,y]$ perteneciente a un borde en la imagen
 Para $\theta = 0$ hasta 180
 $H[d, \theta] \leftarrow H[d, \theta] + 1$
3. Hallar los valores (d, θ) donde $H[d, \theta]$ es máximo
4. Filtrar las líneas obtenidas por su valor $H[d, \theta]$ usando el umbral (número de votos mínimos) dado.

Esta transformada se usará en conjunto con los contornos hallados en el paso anterior para hallar individualmente las líneas rectas de cada contorno de modo que se evitan errores por intersecciones de líneas muy cercanas. Esto también elimina los problemas de procesarlo como un todo tales como las rectas que se forman accidentalmente por alineamiento en las letras y números dentro de la placa. Se harán pequeñas modificaciones al algoritmo original para adecuarse al problema de una manera más efectiva. En vez de usar la imagen entera, se usará la lista con los puntos obtenidas de los contornos, reduciendo el número de ciclos que tendrá el algoritmo. En la imagen 4.4 se muestra el resultado.

Procedimiento modificado:

1. Inicializar $H[d, \theta]=0$; H es el arreglo acumulador
2. Para cada punto $I[x,y]$ perteneciente a la lista de puntos del contorno
 Para $\theta = 0$ hasta 180
 $H[d, \theta] \leftarrow H[d, \theta] + 1$
3. Hallar los valores (d, θ) donde $H[d, \theta]$ es máximo
4. Para d desde 0 hasta altoAcumulador
 Para $\theta = 0$ hasta 180
 Si $H[d, \theta] > \text{umbral}$ y $\text{esMaximoLocal}(H,d,\theta)$ entonces
 RegistrarLinea(líneas, $H[d, \theta]$)
5. Para cada Linea en Lineas
 Angulo \leftarrow AnguloDeLinea(Linea)
 Si Angulo $\in [85,95]$ ó Angulo $\in [0,5] \cup [175,180]$
 RegistrarLinea(Resultado,Linea)

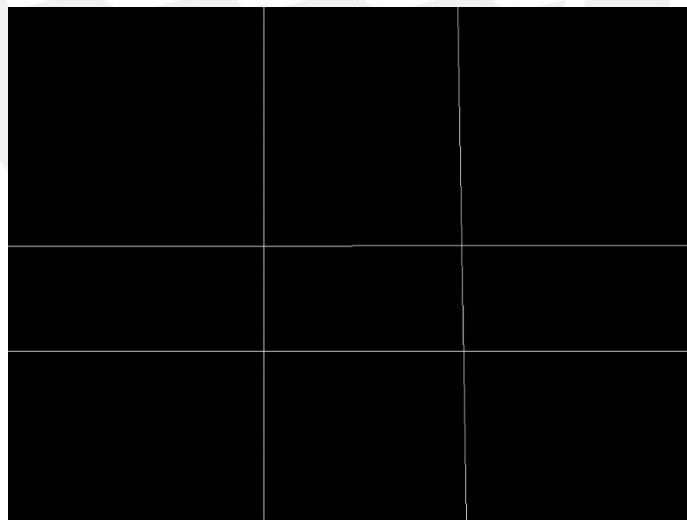


Imagen 4.4: Imagen aislada con las líneas del contorno de la placa

c. Detección de posibles localizaciones de la placa

Una vez teniendo las líneas rectas de los contornos detectadas se hallan las intersecciones, en la imagen 4.5 se muestran las líneas antes de ser procesadas. Se hallan luego los polígonos presentes en la figura a través de

las intersecciones halladas anteriormente. Descartando los polígonos que no tengan exactamente cuatro esquinas, se halla el centro de gravedad del cuadrilátero para ordenar los puntos según su secuencialidad en el cuadrilátero, lo que lo prepara para una futura transformación de perspectiva. En la figura 4.6 se muestra el resultado de la detección de cuadriláteros.

El método para detección de cuadriláteros a través de un conjunto de líneas que se usará es una adaptación propia de un método basado en grafos. Se consideran las intersecciones de las líneas como nodos de un grafo y se hallan todos los circuitos de cuatro vértices que se manifiesten en la imagen como cuadriláteros.

El procedimiento implementado sigue la siguiente lógica:

1. Se obtienen todas las intersecciones del conjunto de líneas recibido del algoritmo Hough.
2. Se consideran estas intersecciones como nodos de un grafo.
3. Se halla la matriz de adyacencia considerando que dos nodos son adyacentes si pertenecen a la misma línea.
4. Para cada nodo i del grafo

Se realiza una búsqueda de profundidad modificada de solo dos niveles (tomando el nodo raíz como el primer nivel y sus hijos como segundo), tomando el nodo i como nodo raíz. Esta búsqueda está modificada de forma que cada nodo en el tercer nivel tenga una lista con sus nodos padre.

Para cada nodo j del grafo que no sea el actual seleccionado (i)

Si tiene más de un padre

Para cada par de nodos en la lista de padres

Si estos nodos no son adyacentes se registra el cuadrilátero con vértices:
Nodo i , Padre 1, Nodo j , Padre 2

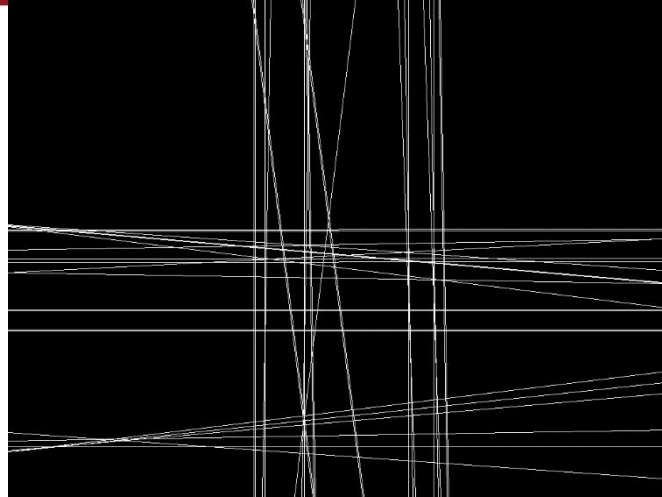


Imagen 4.5: Imagen con las líneas detectadas en todos los contornos de la cual se obtendrán todos los cuadriláteros



Imagen 4.6: Imagen con los cuadriláteros detectados

CAPÍTULO 5: Procesamiento y reconocimiento de la placa

En este capítulo se abordarán las fases de filtro de posibles placas y la integración con el módulo OCR.

3. Filtro de ventanas e identificación de la placa

Una vez obtenidas los posibles cuadriláteros donde se encuentre la placa se debe corroborar cuál de ellos contiene la placa, si es que alguno de ellos la contiene. Para ello se deben comparar distintos parámetros:

a. Paralelismo

Se verificará que los cuadriláteros sean lo más cercano a un paralelogramo. Se comparan los lados opuestos del cuadrilátero, los cuales deben tener la misma longitud con su respectivo error, el cual para efecto de este experimento será doce (12) píxeles.

b. Dimensiones

El formato de las placas peruanas tiene una proporción de altura con anchura definida. Usando esta proporción se determinará en primera instancia para eliminar cuadriláteros que no cumplan con esta proporción dado un margen de error adecuado.

$$\min WHRatio < W/H < \max WHRatio$$

Las dimensiones oficiales de las placas son 300 mm de ancho y 150 mm de alto lo que produce un ratio ancho por alto de 2. Se estimará un error de ancho de 0.8 y uno de alto de 0.5. Esto se debe a las dimensiones promedio de las placas halladas por el algoritmo las cuales tienden a incluir los bordes del protector de la placa, por lo que la relación ancho/alto suele ser mayor que la relación ideal planteada por el estándar de ley.

$$1.5 < W/H < 2.8$$

c. Heurística de identificación de placa

En segunda instancia se contará con una técnica de cortes horizontales para detectar si hay caracteres dentro de la zona y si estos concuerdan con el formato de la placa de rodaje peruana por método de reconocimiento de patrones.

1. Se realizan dos cortes horizontales a $1/3$ y $2/3$ de la placa detectada
2. Se halla el número de objetos con los que tiene intersecciones
3. Si el número de objetos concuerda con el número de caracteres presentes en las placas peruanas, según regulación es seis, considerando un error de cuatro caracteres. Esto es, se consideraran seis objetos como mínimo y diez como máximo, entonces se le considera placa y se entrega como resultado a la segmentación de caracteres para continuar con el procesamiento.

4. Reconocimiento de placa

Una vez se tienen las posibles placas, se requiere obtener el texto de la placa. Para esto, primero se debe saber en qué zonas de la imagen se encuentran los caracteres.

a. Pre-procesamiento

Es necesario pre-procesar las placas para poder obtener eficientemente la posición del texto en la imagen. Para esta etapa se necesita un método de umbralización o thresholding que pueda filtrar los tonos más bajos que corresponden al fondo de la placa. Debido a las diferencias entre imágenes no se puede usar un umbral estático, ya que este no funcionaría para todas. Por esto se usará el método de umbralización de Otsu el cual divide la imagen en dos clases (fondo y frente) e calcula el umbral óptimo al minimizar las varianzas de estas.

1. Calcular histogramas y probabilidades de cada nivel de gris
2. Inicializar ω_i y μ_i

3. Recorrer todos los umbrales posibles $t = 1..intensidad\ máxima\ (255)$
 - a. Actualizar ω_i y μ_i
 - b. Calcular $\sigma^2(t)$
4. El umbral deseado corresponde a $\sigma^2(t)$ o al promedio de los dos mayores



Imagen 5.1: Imagen de la placa aislada. Imagen 5.2: Imagen umbralizada usando el método de Otsu

b. Estimación vertical

Con la imagen ya preprocesada, se estimará donde se encuentra el texto verticalmente. Para esto se aprovecha la particularidad de la placa que hay una zona entre el número de la placa y el marco donde se encuentra la palabra Perú, en la cual hay una gran concentración de píxeles blancos. Para esto se realizan cortes horizontales donde se suman todos los valores de una fila obteniendo una función discreta con los valores de la suma de intensidades de gris en una fila.

$$F(i) = \sum_{j=0}^{\text{ancho}} \text{Imagen}[i][j]$$

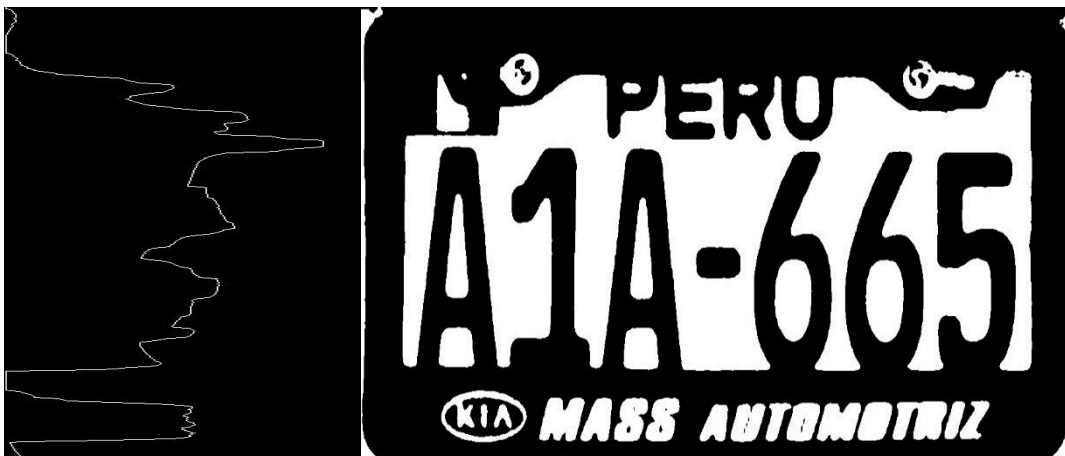


Imagen 5.3: Placa con su histograma de cortes horizontales

Después de haber hallado esta función discreta se hallan los puntos máximos locales usando una aproximación discreta de la primera derivada. Para hallar el margen superior e inferior se procesará la imagen en dos partes. Se dividirá la imagen a la mitad y para hallar el margen superior, se buscará el valor máximo de entre los máximos locales hallados con la evaluación de la primera derivada. Para hallar el margen inferior, se buscará entre los máximos locales el punto que tenga la mayor segunda derivada, esto es, el punto en el que la variación de la función de suma de grises sea más notoria. A este método se le añade una mejora de ignorar todo después de encontrar una fila con casi todos sus píxeles de color negro. Esto como se puede ver en la imagen, indica un margen inferior de la placa, más allá del cual no tiene sentido procesar.

c. Estimación Horizontal

Una vez estimados los límites superior e inferior, se segmentarán los caracteres. Se utilizará un método similar horizontalmente donde, esta vez, la función significará el número de píxeles negros en la columna. Se truncará la función para eliminar pequeño ruido. Luego se encuentran los puntos donde la función cambia de valor de cero o a cero. Con este método se obtienen los límites horizontales sobre donde comienzan y terminan los caracteres en la imagen. En la imagen 5.4 se muestra el resultado de esta operación y también los caracteres segmentados tanto horizontal como verticalmente en la imagen original.

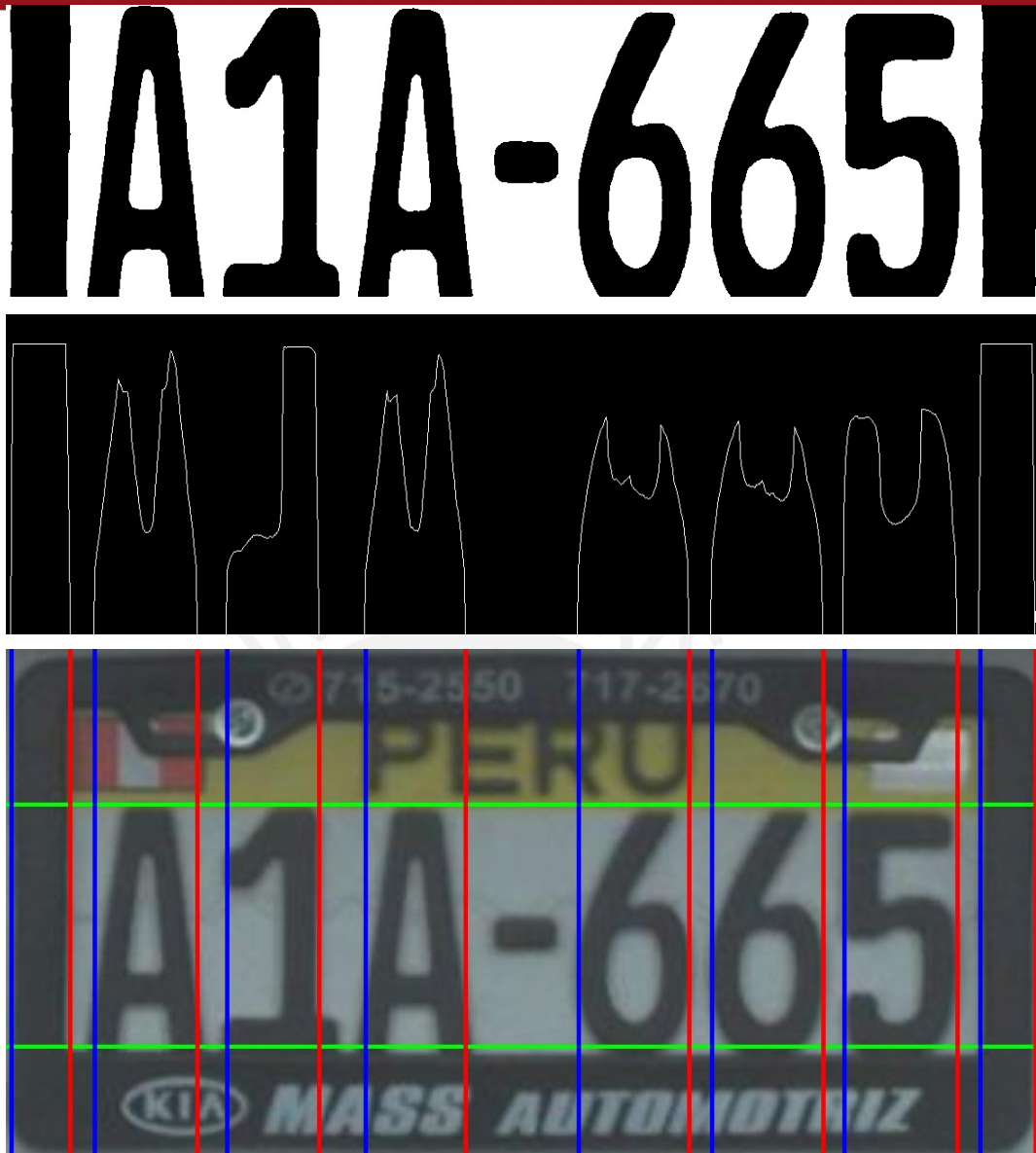


Imagen 5.4: Placa con histograma de cortes verticales y la estimación final en la placa original

CAPÍTULO 6: Integración y resultados

5. Integración

Por motivos demostrativos se integrarán los algoritmos dentro de módulos que permitan visualizar la interacción entre los distintos algoritmos seleccionados.

a. Módulo de pre-procesamiento

Se implementó un módulo de pre-procesamiento donde se podrían visualizar las tres operaciones efectuadas sobre la imagen. Se obtienen los resultados intermedios del pre-procesamiento y se almacenan en memoria para ser mostradas en la aplicación. Se muestran la imagen original en escala de grises, la imagen después de haberle aplicado el desenfoque, la imagen después de usar el algoritmo de Canny y la imagen de los bordes de Canny después de aplicada la dilatación.

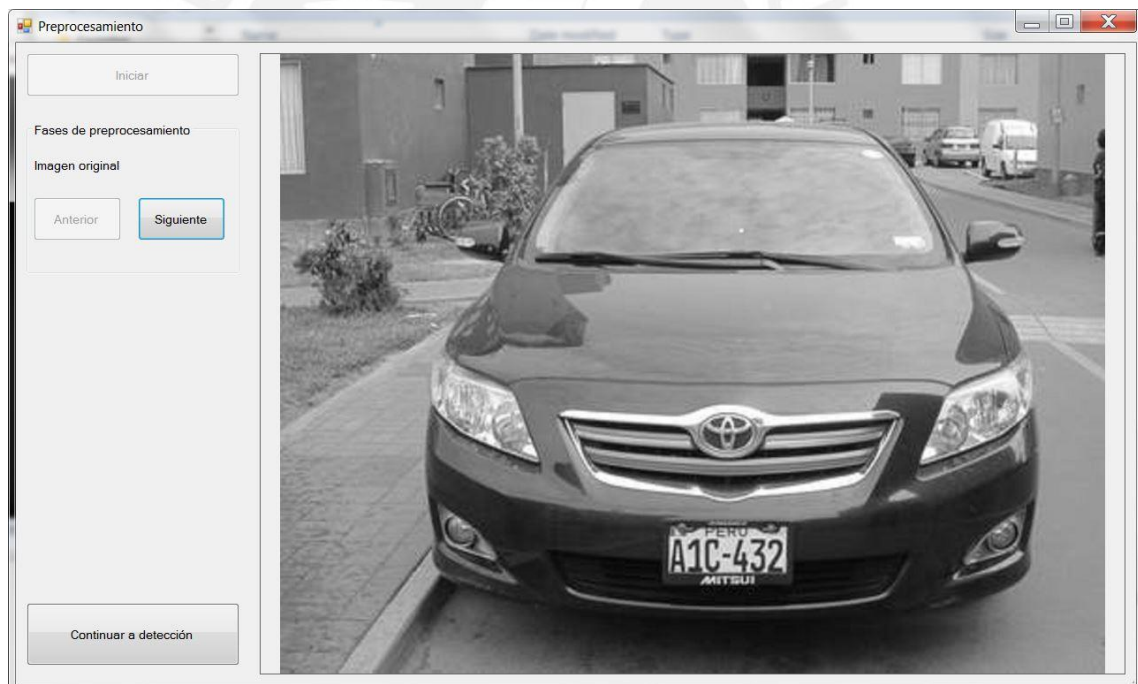


Imagen 6.1: Módulo de pre-procesamiento mostrando la imagen original en escala de grises

b. Módulo de detección

El módulo de detección incluye tres vistas: los contornos procesados dibujados junto con las líneas halladas con la transformada de Hough, los cuadriláteros hallados en la imagen dibujados sobre la imagen pre-

procesada y los cuadriláteros filtrados, según sus proporciones, en perspectiva como imagen por separado.

En la primera vista se tienen los resultados del algoritmo de contornos en conjunto con el resultado de la transformada de Hough. Se muestran todos los contornos filtrados que serán procesados, cada uno con sus respectivas líneas rectas verticales y horizontales halladas por la transformada de Hough.

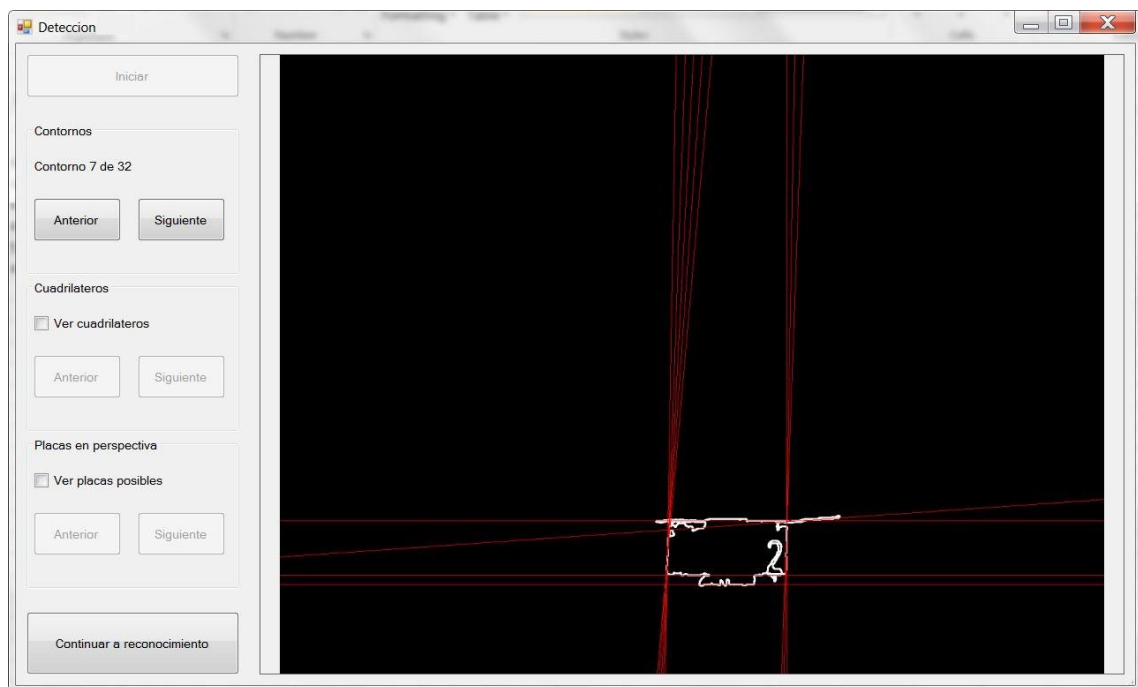


Imagen 6.2: Módulo de detección mostrando el contorno perteneciente a la placa con sus líneas de Hough

En la vista siguiente se tienen los cuadriláteros hallados por las intersecciones de las líneas de cada contorno, dibujados sobre la imagen obtenida de la etapa de pre-procesamiento. Se traslapó la imagen original junto con la imagen pre-procesada usando los cuadriláteros como filtro para que los bordes de estos sean más notorios y se pueda apreciar efectivamente como la interacción de los algoritmos logró que se llegara hasta este punto.

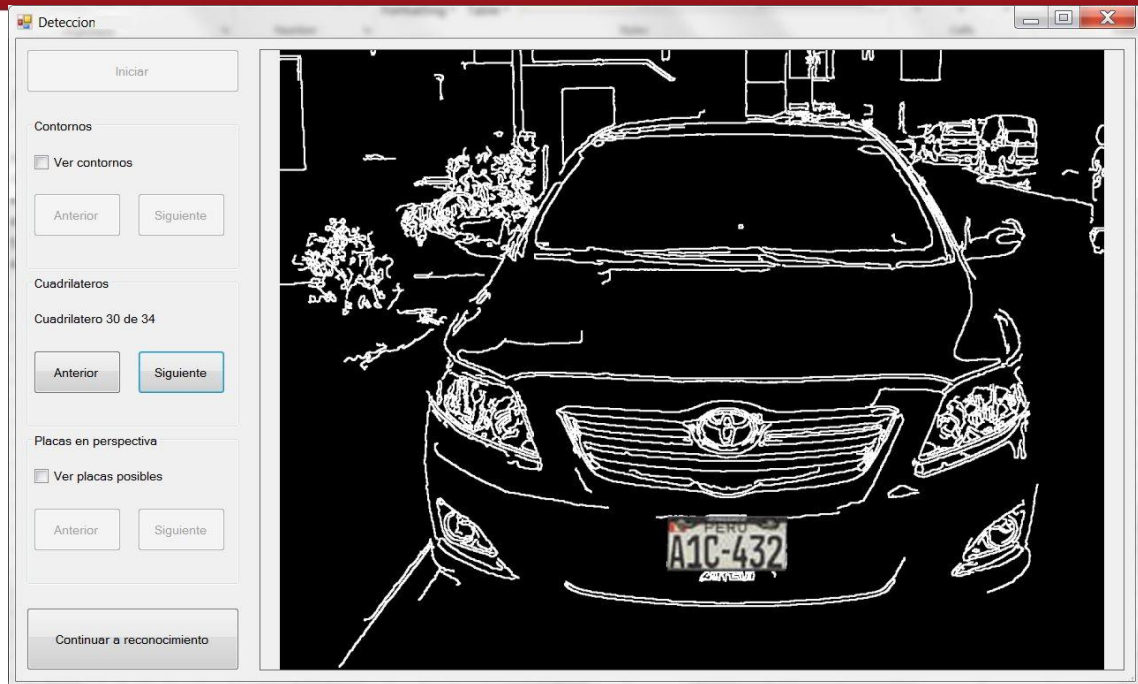


Imagen 6.3: Módulo de detección mostrando el cuadrilátero de la placa sobre la imagen pre-procesada

En la última vista se presentan los cuadriláteros que, después de haber sido transformados en perspectiva, pasaron el filtro de proporción ancho/alto. Estos cuadriláteros son presentados como imágenes independientes.



Imagen 6.4: Módulo de detección mostrando la placa en perspectiva como imagen independiente

c. Módulo de reconocimiento

El módulo de reconocimiento intentará mostrar el procedimiento para ubicar y segmentar los caracteres de la placa y el resultado final con los caracteres ubicados y reconocidos usando el procedimiento de OCR seleccionado.

En la primera vista se muestra la segmentación en la imagen así como también los histogramas que se utilizaron para su procesamiento vertical y horizontal. Se pueden apreciar los máximos y mínimos en los histogramas que llevaron al resultado de la segmentación.

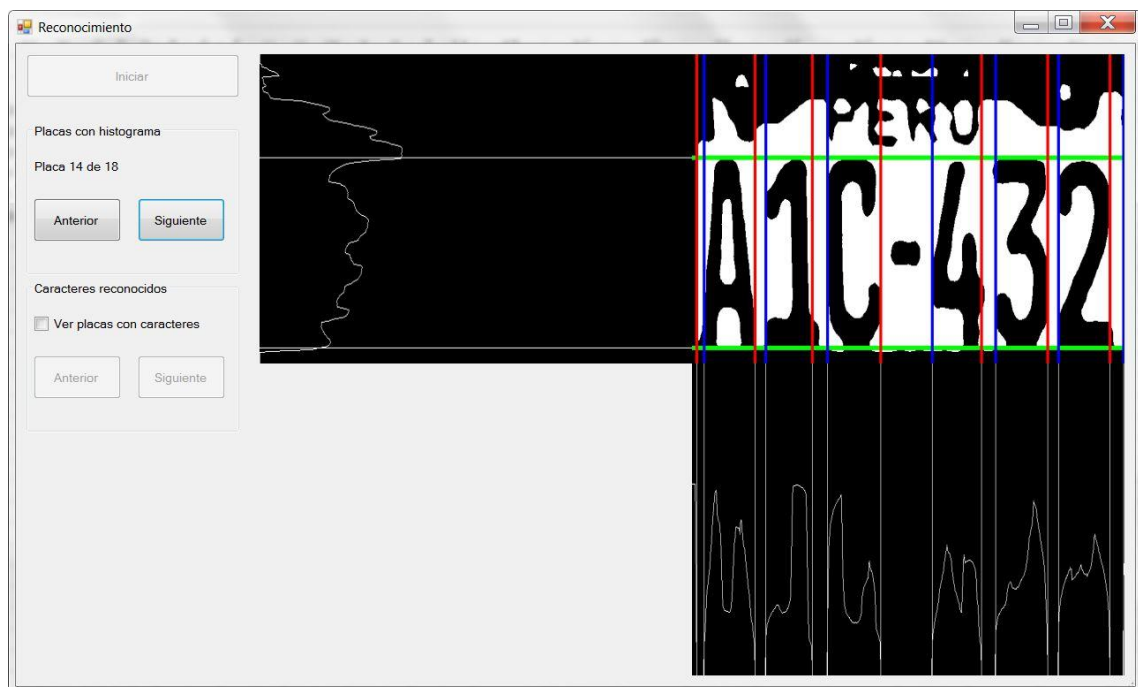


Imagen 6.5: Módulo de reconocimiento mostrando la imagen segmentada y sus histogramas de intensidad de gris vertical y horizontal

En la siguiente vista se muestra el producto final, los caracteres segmentados y reconocidos.

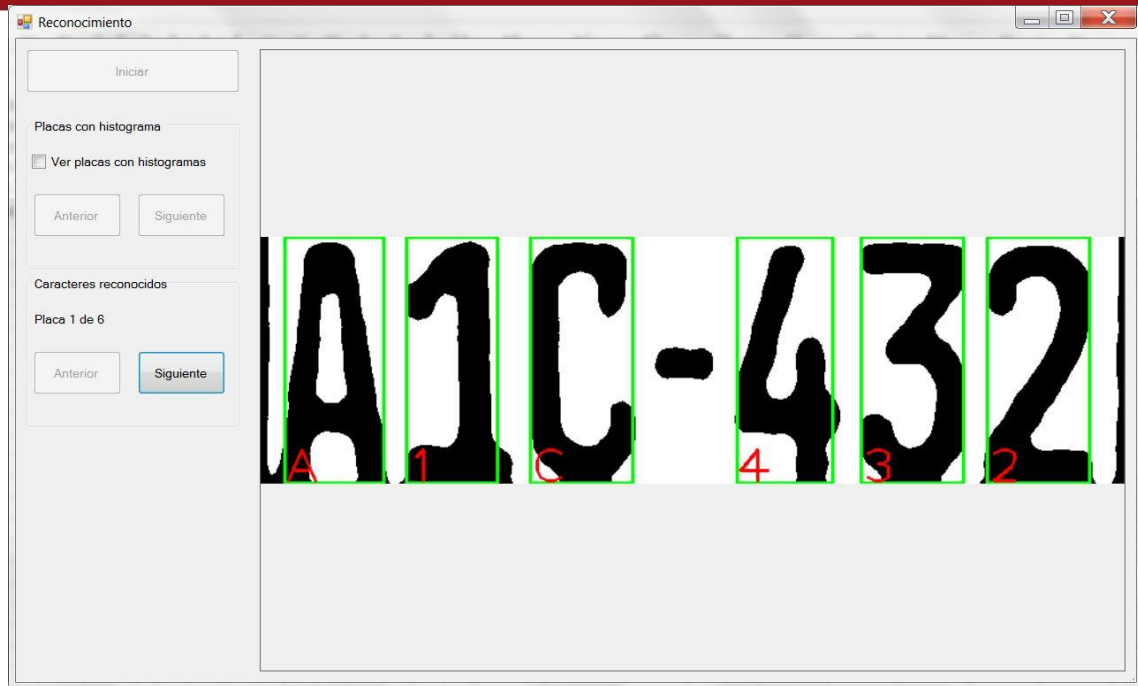


Imagen 6.6: Módulo de reconocimiento mostrando el producto final con los caracteres segmentados y reconocidos

6. Resultados de detección

La eficacia de un sistema de reconocimiento de placas vehiculares está dada por la capacidad de devolver el número correcto de la placa a partir de una imagen. Esta se puede separar en la eficacia de la detección de la placa y la eficacia del reconocimiento de caracteres. Ambas son igualmente importantes para el resultado final pero el desempeño del reconocimiento de caracteres está fuertemente condicionado del resultado de la detección, puesto que si el resultado de la detección no es correcto, aplicar el reconocimiento ya no tendría sentido alguno.

Para mostrar la confiabilidad del prototipo de software de reconocimiento de placa vehicular en relación a la detección de la placa se realizó un experimento.

Diseño del experimento

La variable que se utilizará en el experimento será la probabilidad de éxito del prototipo, basada en una serie de pruebas realizadas en las condiciones que exige el problema. Estas pruebas se realizarán en condiciones similares a las que se encontrarán en el ambiente final real (el acceso a un edificio).

Para la experimentación se usarán imágenes frontales y posteriores de distintos automóviles con placas visibles cuyo perímetro no es menor de 250 píxeles en la imagen ni mayor que la mitad del perímetro de la imagen. Además, el ángulo de captura de las imágenes pretenderá ser recto para evitar mayores deformaciones por perspectiva de las placas.

Se eligió la variable de éxito de la detección debido al enfoque del proyecto el cual intenta entregar el mejor resultado de detección para su futuro procesamiento por un software, módulo o algoritmo de reconocimiento de caracteres.

Ejecución del experimento

El experimento se realiza para asegurar la idoneidad del prototipo de detección de placa de acuerdo al porcentaje de éxito del mismo, considerando un resultado exitoso donde la detección localiza la placa dentro de una o más de sus zonas posibles halladas.

Hipótesis: El porcentaje de éxito del prototipo es mayor que el mínimo auto-impuesto del 95%

$$H_0 : P = P_0$$

$$H_1 : P > P_0$$

Donde:

P: Probabilidad de acierto del prototipo.

P_0 : Probabilidad de acierto mínimo, 95%

El experimento se realizará hallando las zonas posibles de las placas para un conjunto de cuatrocientas (400) imágenes, en condiciones adecuadas, para manualmente catalogar y contabilizar los casos de éxito y de fallo.

Resultados del experimento

Se procesaron 400 imágenes de automóviles usando el prototipo de reconocimiento de placa.

| Nº de muestras adecuadas | Nº de éxitos | Nº de fallos |
|--------------------------|--------------|--------------|
| 400 | 393 | 7 |

Análisis de los resultados

Para analizar la hipótesis binaria con varianza conocida, usamos una aproximación a distribución normal estableciendo un nivel de confiabilidad del 95% ($\alpha = 0.05$)

Se realizará una prueba de hipótesis usando la aproximación normal con una prueba de cola derecha debido a que se quiere comprobar que el ratio de éxito es mayor a uno dado.

Calculamos el estadístico Z

$$Z = \frac{\bar{P} - P_0}{\sigma_{\bar{P}}}$$

Donde:

$$\sigma_{\bar{P}} = \sqrt{\frac{P_0 * (1 - P_0)}{n}}$$

$$n = 400$$

$$P_0 = 0.9$$

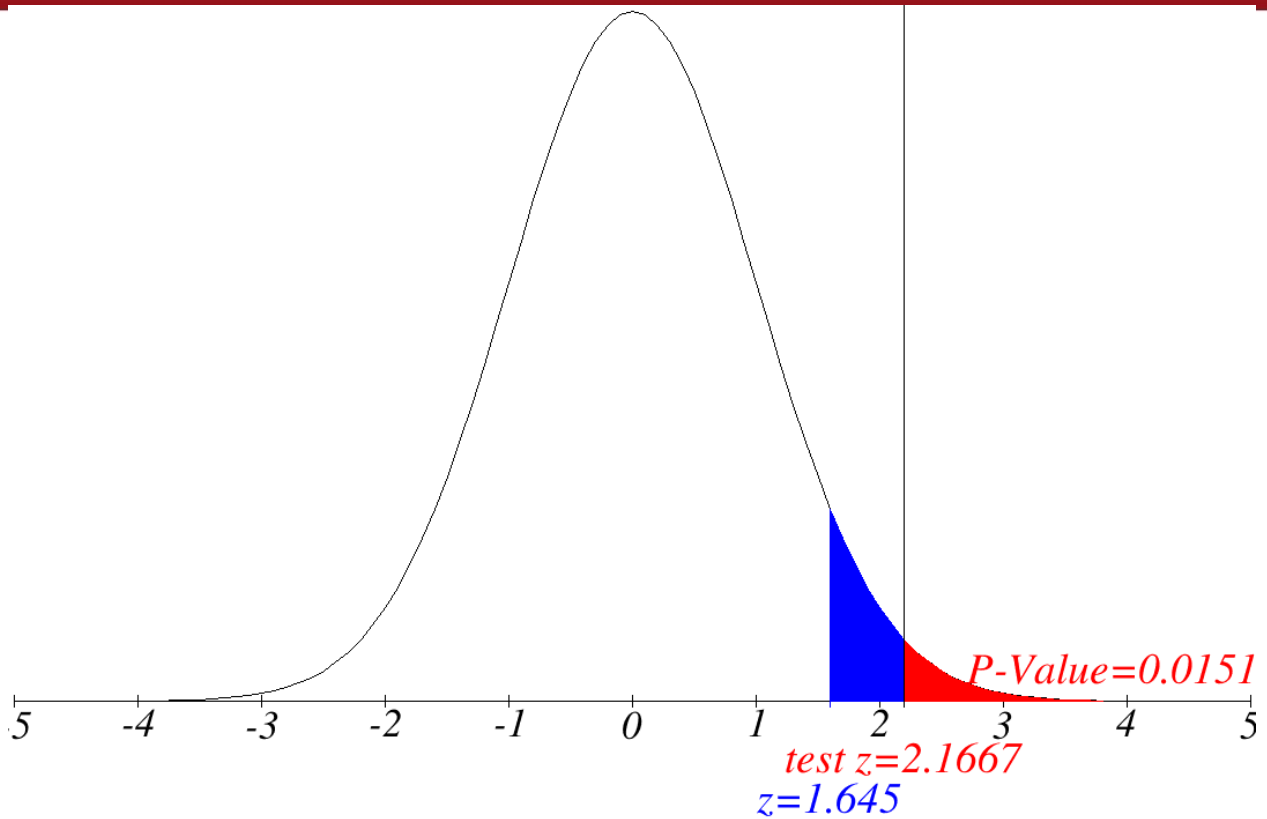
$$\bar{P} = \frac{393}{400} = 0.9825$$

Entonces:

$$Z = \frac{0.9825 - 0.95}{0.015}$$

$$Z = 2.1667$$

$$Z_{1-\alpha} = Z_{0.95} = 1.645$$



Como $Z > Z_{1-\alpha}$, $Z \in]1.645, +\infty[$ entonces se rechaza H_0 y se acepta H_1

Conclusiones del experimento:

Este análisis ha servido para asegurar que la detección de la placa vehicular presenta una probabilidad de éxito óptima para que el resultado total dependa de la eficacia del reconocimiento de caracteres.

El test ha mostrado que se tiene la suficiente confianza en que se apruebe la hipótesis; esto es, se puede asegurar que el índice de éxito de detección es mayor al 95%.

CAPÍTULO 7: Conclusiones y trabajo futuro

7. Conclusiones

Se han compilado las conclusiones más significativas halladas durante toda la vida del proyecto de tesis. Entre estas conclusiones se encuentran temas sobre el problema, sobre el desarrollo de la solución y sobre la solución como tal.

7.1. Sobre los problemas de las placas vehiculares

En el ámbito real se presentan peculiaridades en diferentes placas vehiculares que las diferencian del estándar ideal marcado por ley, sin dejar de ser legal.

Las condiciones con las cuales se ha delimitado el problema señalan iluminación, posicionamiento y perspectiva de la placa. Sin embargo, se escapan de estas especificaciones ciertos detalles que dificultan el proceso de detección y/o reconocimiento de la placa vehicular en la imagen. A continuación se explica el impacto que tienen o podrían tener los problemas con las placas descritos en capítulos anteriores.

- a. Marcos de placas no convencionales: Se observó que existen y están en uso marcos de protección para placas no convencionales, como por ejemplo marcos con forma de cadena (véase Imagen 7.1) o de tubo transparente con luces intermitentes. Estos marcos entorpecen diferentes procesos de detección y en ciertos casos podría hasta imposibilitar la detección de la placa al suprimir la característica rectangular de la placa. En el caso que se quiera implantar una solución del tipo Automatic License Plate Recognition (ALPR) a gran escala, se recomienda enfáticamente que se elaboren regulaciones para controlar estos protectores o presentar una estandarización de los mismos.



Imagen 7.1: Placa con borde de cadena

- b. Adornos o stickers con forma rectangular: Adornos de esta naturaleza pueden ralentizar el proceso de detección al generar falsos positivos. Además, en el peor de los casos, uno de estos stickers puede ser identificado como placa y mostrar un número de licencia incorrecto. Este caso de reconocimiento incorrecto se encontraría dentro de un rango de probabilidad tan bajo, gracias a los controles del algoritmo, que solo podría ser intencional. Estos no presentan una amenaza para implantaciones de software de este tipo. Por ejemplo, en la imagen 7.2 se observan stickers rectangulares con el número de la placa, además de los stickers reflectantes.



Imagen 7.2. Stickers rectangulares

- c. Adornos o stickers con forma no rectangular: Ornamentación de este tipo es completamente inofensiva siempre y cuando no afecte la legibilidad de la licencia o la forma rectangular de la misma. Esto se debe a que los

algoritmos centran su objetivo en detectar formas rectangulares y estos ornatos son ignorados en un principio. En la imagen 7.3 se observa un adhesivo “Taxi Partners” el cual es inofensivo al procesar la imagen.



Imagen 7.3: Imagen con sticker no rectangular

- d. Placas antiguas: Placas antiguas fuera del estándar que aún continúan en circulación presentan problemas en la etapa de reconocimiento. Se realizaron pruebas con placas fuera del estándar, que eran de años anteriores a este, obteniéndose un resultado igualmente satisfactorio que las pruebas con placas estandarizadas hasta la etapa de detección. En estas pruebas se localizaron las placas exitosamente y en un porcentaje considerable se localizaron los caracteres de la licencia correctamente, pero las letras de estas placas eran casi en su totalidad ilegibles para el software debido a su desgaste y fuente irregular, muchas veces desproporcionada. En la imagen 7.4 se observa una placa perteneciente al formato antiguo.



Imagen 7.4: Imagen de placa con formato antiguo.

Dejando los problemas hallados con las placas a un lado, el sistema se puede enfrentar al entorno real propuesto, que es el acceso vehicular a un edificio. Esto se debe a las pruebas exhaustivas que se realizaron sobre imágenes en las mismas condiciones que estarían expuestas en el acceso al edificio.

7.2. Sobre la solución

Los algoritmos utilizados para el desarrollo del proyecto fueron basados en experiencias previas de autores publicados obtenidos de distintas publicaciones sobre el tema. Estos se adaptaron correctamente al entorno planteado. Se obtuvieron las conclusiones con respecto a los algoritmos:

7.2.1. Sobre los algoritmos para pre-procesamiento

Los algoritmos utilizados para la etapa de pre-procesamiento: desenfoque con filtro de caja, detección de bordes de Canny y dilatación de imagen; todos presentan una buena coordinación y adecuado desempeño. Estos tres algoritmos fueron escogidos especialmente para coordinar su resultado con los algoritmos de detección. Basado en el requerimiento de tener la placa delimitada en una imagen “simple”, se requiere un umbralizado o thresholding. Este umbralizado no puede ser realizado por métodos que no consideren el ruido o complejidad ya que la imagen de un automóvil no es tan simple como la descripción de un objeto en un fondo; debido a este requerimiento se escogió Canny.

Durante el desarrollo del proyecto el algoritmo de detección de bordes de Canny mostró una buena interacción con el algoritmo de desenfoque. El ruido de una imagen del experimento y la gran cantidad de líneas presentes en un automóvil hicieron necesaria la presencia del desenfoque para que el algoritmo de Canny pueda mostrar las líneas de borde de la placa de una forma aceptable. En casos de prueba sin el desenfoque se creaban líneas pequeñas alrededor de los bordes más fuertemente definidos como una forma de ruido; además, se “fracturaban” los bordes en partes difusas. Esto significa que para una situación con ruido moderado y con gran cantidad de bordes como lo es generalmente un problema ANPR una coordinación de desenfoque de filtro de caja con algoritmo de detección de bordes Canny es una opción adecuada para pre-procesar la imagen.

El resultado de la detección de bordes de Canny mostró un resultado ligero en términos que al continuar a la siguiente etapa el algoritmo de contornos necesitaba más puntos para funcionar correctamente en conjunto con la detección de rectas de Hough. Para reforzar esta susceptibilidad de falta de puntos en el algoritmo se escogió usar una operación dilatación. Este procedimiento mostró ser útil para obtener una cantidad de puntos mayor y mejor definida como resultado del algoritmo de contornos, una alternativa a considerar si se desea usar el algoritmo de contornos como parte de una solución ANPR.

7.2.2. Sobre los algoritmos para detección

Durante el desarrollo del módulo de detección se realizaron observaciones sobre mejora de eficiencia de usar métodos en conjunto, a usar uno u otro independientemente.

7.2.2.1. Detección

Usando parte concepto propuesto en una publicación de la facultad de tecnologías de información de la University of Natural Sciences Vietnam [17], se desarrolló la combinación de algoritmo de contornos con la transformada de Hough. De aplicar solo el algoritmo de contornos se tiene el problema de que sea posible que la placa sea parte de un contorno mayor o se pierda entre otros contornos. En el caso se aplique solo la transformada de Hough a la imagen pre-procesada, se obtienen muchas líneas interconectadas, lo que ocasiona caos en el siguiente paso de detección de cuadriláteros y una muy mayor cantidad de falsos positivos. La aplicación de estos dos métodos juntos reduce la cantidad de intersecciones por vez que se aplica la transformada de Hough, disminuyendo el número de falsos positivos y la carga para el algoritmo de detección de cuadriláteros. Además, incrementa la probabilidad de éxito, ya que este analiza las líneas rectas de todos los contornos, donde uno de ellos potencialmente contiene la placa. En conclusión, se observó una mejora en la eficacia de la solución al usar la transformada de Hough sobre cada contorno en contraste a usar los métodos independientemente.

7.2.3. Sobre los algoritmos para reconocimiento

Durante la segmentación de caracteres se muestran diferencias significativas entre los tipos de letras entre las placas nuevas y antiguas, especialmente en la forma de la letra “I”, la cual por ser considerada puede causar pérdida de exactitud al excluir caracteres. Esto se debe a que la letra “I” antigua se grafica como una línea recta vertical, lo que obliga a cambiar la permisividad del filtro de caracteres por su proporción ancho-alto. Esto significa sacrificar precisión para tener portabilidad. En el caso ideal se debería dejar de considerar las placas fuera del estándar impuesto pero aún siguen en circulación vehículos que utilizan esas placas. Debido a esto, se considerará en el sistema aunque se recomienda que se refuerce la normativa para eliminar ese caso del sistema y mejorar su desempeño.

El mayor desafío una vez ubicada la placa en la imagen es segmentar los caracteres para su reconocimiento. Esto se debe en parte a que los bordes del protector muchas veces no dejan espacio entre las letras y el borde inferior; otras veces los bordes laterales se incluyen de forma no intencional. Debido a que la fuente de estos caracteres es regular el reconocimiento no necesita de un método complejo o especializado para su reconocimiento exitoso, dejando esta parte del procesamiento más simple que la localización del texto en la placa.

7.3. Sobre la eficiencia de la solución

La eficiencia que muestra el modelo algorítmico desarrollado, expresada en tiempo de ejecución, a primera vista da señales de no ser suficiente para que este sea usado para analizar video en tiempo real. Sin embargo, se puede contrastar la eficacia, el índice de éxito, con el de otros modelos propuestos en conjunto con su velocidad. El modelo propuesto intenta tener un balance entre tiempo de procesamiento y eficacia. A continuación se mostrará los resultados de esta comparación.

7.3.1. Métodos alternativos con mayor velocidad

En una cantidad de casos, se puede obtener la placa velozmente pero siempre y cuando se esté atado a un conjunto de restricciones. En general, estos métodos usan algoritmos de bajo nivel para mejorar el

desempeño y estos están restringidos a imágenes con características definidas. Un ejemplo de enunciado de delimitación de alcance de este tipo de soluciones podría escribirse como: “funcionaría solo en imágenes donde la placa del carro se observa claramente como una sección de la imagen con una intensidad de grises que tiende a blanco diferenciada del resto de la imagen”. El ejemplo anterior deja fuera de su alcance una cantidad alta de imágenes donde el auto puede ser blanco y la placa no es tan notoria al hacer su barrido.

El método propuesto presenta un tiempo de procesamiento elevado en comparación a este tipo de métodos, sin embargo, el alcance que abarca es considerablemente mayor. Esto indica que tendrá un mayor índice de aciertos, considerando que podrá evaluar una mayor variedad de casos.

7.3.2. **Métodos alternativos con mayor eficacia**

Existen combinaciones algorítmicas que exitosamente resuelven el problema con un índice de éxito mayor que el propuesto y en una mayor variedad de situaciones, pero estas combinaciones sacrifican desempeño. Estos métodos, generalmente, realizan análisis exhaustivos sobre la imagen. Un ejemplo de esto es un método encontrado que haya todos los cuadriláteros presentes en una imagen y luego los filtra usando las características del objeto a buscar. Cabe decir que estos métodos analizan la imagen múltiples veces de diferentes formas cada vez. Analizar la imagen una cantidad elevada de veces gasta recursos, a veces de tal manera que el algoritmo resulta con un tiempo en el rango de los segundos. En conclusión se podrían analizar casos con condiciones que salen del límite propuesto pero a un precio alto para el desempeño de la solución.

El método propuesto presenta un índice de éxito aceptable para su propósito, de modo que no sería necesario arriesgar la pérdida de velocidad para poder procesar entornos que no se presentaran dentro del alcance de la solución.

8. Trabajo futuro

El trabajo futuro posible involucra la transformación del algoritmo para trabajar con video. Para esta transformación son necesarios un punto importante: el algoritmo debe ser lo suficientemente veloz para procesar video. Las opciones de trabajos futuros sobre este proyecto propuestas son basadas en dos conceptos: optimización de video y procesamiento paralelo.

La optimización de video es un paso necesario para que se pueda aplicar eficientemente el software a video. Esto involucra mejoras de imagen de modo que los fotogramas del video tengan la calidad equivalente a una foto, al reducir el ruido por movimiento, pixeles adyacentes, etc. Además, para este paso se necesitaría mejoras de eficiencia en el código para reducir su tiempo de ejecución.

El concepto de procesamiento paralelo podría representar un intento de mejora digno de considerarse. El procesamiento paralelo aprovecha en procesamientos involucrados con gráficos hardware especializado. Muchas veces, este método mejora la eficiencia considerablemente a costo de una complejidad algorítmica mayor.

Referencias bibliográficas

- [1] Pajares, Gonzalo, De la Cruz, Jesús
2001, Visión por computador - Imágenes Digitales y aplicaciones . Primera edición.
España: RA-MA
- [2] Parker, J.R.
2011, Algorithms for Image Processing and Computer Vision. Second edition.
Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.
- [3] Nixon, Mark, Aguado, Alberto.
2012, Feature Extraction & Image Processing for Computer Vision. Third edition.
United Kingdom: Elsevier Ltd.
- [4] Lagranière, Robert
2011, OpenCV 2 Computer Vision Application Programming Cookbook. First edition.
Packt Publishing Ltd.
- [5] Shyang-Lih Chang; Li-Shien Chen; Yun-Chung Chung; Sei-Wan Chen,
2004 "Automatic license plate recognition". *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on. Taiwan*, 2004, vol.5, no.1, pp.42-53
- [6] Tsang-Hong Wang; Feng-Chou Ni; Keh-Tsong Li; Yon-Ping Chen,
2004 "Robust license plate recognition based on dynamic projection warping," *Networking, Sensing and Control, Taiwan, 2004 IEEE International Conference on* , vol.2, pp.784-788 Vol.2, 2004
- [7] Shan Du; Ibrahim, M.; Shehata, M.; Badawy, W.,
2013 "Automatic License Plate Recognition (ALPR): A State-of-the-Art Review," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on* , vol.23, no.2, pp.311-325, Feb. 2013
- [8] Díaz Rojas, Kristians Edgardo
2006, Localización y reconocimiento automático del número de placa de un automóvil. Tesis para obtener el título de: Ingeniero Electrónico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Ingeniería electrónica.
Tesis

- [9] Bergenudd, Erik
2006, Low-Cost Real-Time License Plate Recognition for Vehicle PC
Master's Degree Project, Stockholm, Sweeden: KTH School of Electrical Engineering
- [10] Megalingam, Rajesh Kannan; Krishna, P.; Somarajan, P.; Pillai, V.A.; Hakkim, R.U.,
2010, "Extraction of license plate region in Automatic License Plate Recognition,"
Mechanical and Electrical Technology (ICMET), 2010 2nd International Conference on, vol., no., pp.496-501, 10-12 Sept. 2010
- [11] Poon, J. C H; Ghadiali, M.; Mao, G.M.T.; Sheung, L.M.,
1995 "A robust vision system for vehicle licence plate recognition using grey-scale morphology," *Industrial Electronics, 1995. ISIE '95., Proceedings of the IEEE International Symposium on* , vol.1, no., pp.394-399 vol.1, 10-14 Jul 1995
- [12] Moghassemi, H.R.A.; Broumandnia, A.; Moghassemi, A. R.,
2011 "Iranian License Plate Recognition using connected component and clustering techniques," *Networked Computing and Advanced Information Management (NCM), 2011 7th International Conference on* , vol., no., pp.206,210, 21-23 June 2011
- [13] Caio Augusto de Queiroz Souza, Éric Fleming Bonilha, Gilson Torres Dias, Luciano Gerizani, Oswaldo Ortiz Fernandes Jr, Pedro Vilaça
"RECONHECIMENTO DE PLACAS DE AUTOMÓVEIS ATRAVÉS DE CÂMERAS IP"
Universidade IMES-São Caetano do Sul (SP)
- [14] Ministerio de transportes y comunicaciones
2008 DECRETO SUPREMO N° 017-2008-MTC, "*Reglamento de Placa Única Nacional de Rodaje*"
Promulgado 19 de Abril del 2008
- [15] Ministerio de transportes y comunicaciones. OGPP – Oficina de estadística
PARQUE VEHICULAR NACIONAL ESTIMADO POR AÑOS, SEGUN CLASE DE VEHICULO: 2003 - 2012
- [16] Ministerio de transportes y comunicaciones. OGPP – Oficina de estadística

PERU: PLACAS ASIGNADAS POR AÑOS, SEGÚN CLASE VEHICULAR, 2003 – 2012

[17] Tran Duc Duan; Duong Anh Duc; Tran Le Hong Du,
2004 "Combining Hough Transform and Contour Algorithm for detecting Vehicles' License-Plates". *Proceedings of 2004 International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing*, 20-22 Oct 2004

[18] Suzuki, Satoshi; Abe, Keiichi,
1985 "Topological Structural Analysis of Digitized Binary Images by Border Following" *CVGIP* 30 1, pp 32-46, 1985

