

Detección de carriles en caminos rurales no pavimentados

Marcelo Tosini, Lucas Leiva

Departamento de Computación y Sistemas
Facultad de Ciencias Exactas
Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
Tandil – Buenos Aires – Argentina
{mtosini, lleiva}@exa.unicen.edu.ar

Resumen. El trabajo presenta un procedimiento para la detección de caminos rurales, particularmente aquellos de tierra, grava, ripio o estabilizado, que por sus características constructivas no presentan delimitaciones laterales parejas, ni demarcación central o lateral. Este tipo de caminos es frecuente en varios países que, por su infraestructura vial, aún tienen un gran porcentaje de carreteras consideradas como pertenecientes a la red terciaria –sin pavimentar ni delinear-. El procedimiento propuesto de detección de bordes de los caminos utiliza una estrategia de análisis primario de los canales de matiz, saturación e intensidad de la imagen a fin de detectar cuál de ellos provee, en cada caso, mejor información. Posteriormente se aplica una secuencia de filtros de convolución que faciliten la detección de las curvas que mapean ambos bordes laterales mediante una transformada de Hough adaptativa.

Palabras Clave. Detección de carriles, Asistencia al guiado, caminos rurales

1. Introducción

Si bien la existencia de caminos no demarcados o en condiciones precarias afecta a varios países, se ha concentrado en este trabajo el análisis de la estructura vial en la Argentina. En este sentido, el país tiene aproximadamente 500.000 km de carreteras y caminos, de los cuales 37.800 conforman la red primaria o nacional y 178.000 la red secundaria o provincial, restando 285.000 que forman la red terciaria dependiente de las municipalidades [1]. La tabla 1 muestra la distribución por zonas de esta red vial con amplia preeminencia de construcción en la provincia de Buenos Aires y, en particular, el conurbano bonaerense.

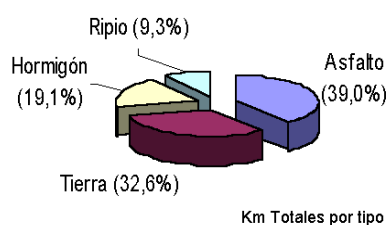
Solo 61.000 km de los 215.000 que forman las redes primarias y secundarias están pavimentados mientras que 37.000 tiene algún tipo de "mejora" (grava o estabilizado). Los restantes 117.000 km están compuestos por caminos de tierra, al igual que la gran mayoría de los que forman la red terciaria, lo que significa que Argentina tiene más de 400.000 km de caminos de tierra, (80% de su red vial).

Un dato importante es que, de los 28.000 km de red primaria pavimentada, 20.000 poseen carpeta asfáltica y casi 1.000 son de hormigón, existiendo alrededor de 8.000 km con tratamiento bituminoso. Considerando que Argentina posee una superficie continental de 2,8 millones de km², se puede concluir que el país tiene una estructura

vial subdesarrollada, lo cual se debe en parte a su escasa población, problema que se ve agravado por el hecho de la alta concentración demográfica en ciertas zonas.

Tabla 1: Red vial Argentina por zonas.

	Km. Lineales	Porcentaje
Buenos Aires	18.900	50%
Centro	7.560	20%
Norte	5.292	14%
Mesopotamia	2.268	6%
Cuyo	2.268	6%
Sur	1.512	4%
TOTALES	37800	



Distribución	Kms
Asfalto	170.395
Tierra	142.610
Hormigón	83.270
Ripio	40.550
TOTALES	436.825

Fig 1: Porcentajes de distribución de caminos en Argentina según su tipo de construcción.

Ya que cerca del 80% de la red vial es de tierra, grava u otro tipo de estabilización es necesario considerar el estudio de mecanismos de detección de estos caminos.

Estadísticamente, un 49% de los accidentes de tránsito ocurren en zonas rurales [2] siendo 12% el total de accidentes ocurridos en tipos de calzadas con condiciones anormales (ripio, tierra, pavimento húmedo/mojado, otros) [3]. Los accidentes de tránsito ocupan el lugar número 13 de las causas de mortalidad en Argentina [4] (2,17% en 2014) involucrando un total de 7268 víctimas fatales en 2016/17 [2].

Tecnológicamente hablando, hoy en día existen sistemas inteligentes aplicados en productos de la industria automotriz que tratan de evitar situaciones de riesgo a los conductores. Entre ellos se hallan sistemas de reconocimiento y detección de carriles. Este término refiere al proceso automático de localizar límites de una calzada sin conocimiento sobre la infraestructura vial. Estas técnicas permiten detectar curvas cerradas, obstáculos y la posición del vehículo, para mitigar posibles riesgos. Frecuentemente los conductores cambian intencionalmente de carril, o no son conscientes de esta acción por distracción o cansancio. Así, es importante conocer la posición del vehículo, y alertar al conductor de posibles situaciones de peligro.

En caminos correctamente estructurados y demarcados existen diversas técnicas para la detección de líneas basadas en los siguientes supuestos: 1) la textura del camino es consistente, 2) el carril está debidamente definido, 3) el ancho del carril es constante, 4) las señales siguen reglas estrictas para la aparición o colocación y 5) el camino es una superficie plana o sigue un estricto modelo de elevación.

Muchos algoritmos existentes tienden a utilizar al menos uno o más de los supuestos anteriores, obteniendo sensibles mejoras en los resultados globales y

disminuyendo el tiempo de proceso. Sin embargo, estas suposiciones pueden fallar o no existir. La hipótesis de una textura de carretera constante puede mejorar en gran medida los resultados de toda su superficie. Se puede utilizar como algo más que las marcas de carretera característica. En situaciones donde las marcas de carretera son escasas o ausentes, pueden proporcionar aún una estimación de la posición del carril.

La suposición de que el ancho del camino o de los carriles es constante puede mejorar el funcionamiento de los algoritmos de detección permitiendo la fusión de los límites laterales de la mano izquierda y de la mano derecha.

Las marcas de carreteras suelen ser claras y continuas en una superficie oscura. Frecuentemente, se supone que la superficie de la carretera es plana o sigue un modelo de elevación constante.

Existen, por otro lado, caminos no estructurados donde no hay carriles o límites obvios, y son vulnerables a sombras y cambios de iluminación. En estos casos, la textura del camino dependerá del tipo de material usado para su relleno o, en muchos casos, el material natural existente: tierra, arcilla, grava, piedra, etc. Lo mismo ocurre con los límites del camino, determinados generalmente por los accidentes naturales de la geografía, como rocas, arboledas, límites de propiedades y otros. La señalización de cualquier tipo es inexistente o está limitada a cartelería lateral con indicaciones de algún accidente geográfico importante. Por último, este tipo de caminos no sigue ningún modelo estricto de elevación. Según [5] los métodos de detección de carreteras no estructuradas se pueden dividir en tres grandes grupos: basado en el modelo de carretera, basado en características de la carretera y basado en conocimiento previo adquirido mediante redes neuronales. El primer método asume una carretera con límites regulares y analiza ciertos puntos característicos para determinar la pertenencia a un modelo predefinido. El segundo, analiza las variaciones en color y textura para determinar los límites del camino. El último grupo se basa en la detección de los rasgos particulares de las rutas a partir de un gran número de muestras previas usadas en el entrenamiento de un sistema neuronal.

Los caminos rurales pertenecen al grupo de caminos no estructurados, fuertemente influenciados por el medio rural, con fuertes cambios por iluminación (debida fundamentalmente a la presencia de árboles), poca definición de límites laterales (usualmente el material del camino y la banquina son el mismo) y características morfológicas escasas o ausentes (ancho discontinuo y dependiente de las características del terreno), por lo que la detección es más difícil.

Algunos trabajos presentados tratan el tema de la detección de límites en este tipo de caminos. Lamentablemente no son tantos como aquellos que abordan la detección de carriles y otros objetos (peatones, carteles) en carreteras estructuradas.

En [5] se presenta un método de detección de carriles en un ambiente o entorno complicado. El trabajo propone el análisis de las imágenes obtenidas convertidas a espacio de colores HIS y análisis del canal H a fin de detectar los límites del camino.

Por otra parte, [6] propone un método algo diferente pero de similar inicio, que involucra un preproceso de la imagen con una conversión a escala de grises basado en una ecuación de ponderación de los colores rojo, verde y azul de la imagen original.

Kong *et. al* [7] hace un análisis de las imágenes de caminos rurales de una manera más estructurada analizando la textura de los píxeles mediante un filtro Gabor. El análisis se realiza sobre una transformación de los colores R, G, B de la imagen.

Otros métodos de la literatura analizan la imagen tratando de estimar tres áreas importantes, el área de horizonte (parte superior), el área de camino y el área de los laterales [8]. Dichas áreas se analizan en función de dos características: Su disposición en la imagen y su composición a partir de sus componentes de color.

Crisman [9] propone un método basado de reconocimiento de patrones, para navegar con éxito en una variedad de carreteras no estructuradas. El algoritmo utiliza una técnica de agrupación de píxeles con colores y ubicaciones similares, y se contrasta la imagen con modelos de carretera para localizar los límites del camino.

Otros métodos usan técnicas de visión estéreo, LIDAR [10,11] o la combinación de información de diferentes sensores [12] para reconocer de caminos rurales.

En este trabajo se propone un algoritmo alternativo que obtiene los límites laterales de camino rurales a partir de la captura de información de una cámara con la mayor certidumbre. En la sección 2 se presenta el desarrollo de la técnica propuesta, en la sección 3 los resultados obtenidos de la evaluación del algoritmo utilizando imágenes reales, y finalmente la sección 4 detalla las conclusiones del trabajo realizado.

2. Desarrollo

El método propuesto se basa en una serie de pasos para obtener los límites laterales (Figura 2). 1) transformación de espacio RGB a HSV. 2) histograma de cada canal (matiz, saturación, valor) para detectar cual contiene mejor información acerca del camino. 3) se suavizan los detalles con una máscara de promedio entre vecinos para disminuir imperfecciones del borde del camino, además de un filtro de umbral para eliminar las partes de más luminosidad de la imagen y un Laplaciano para destacar las regiones del camino con cambios bruscos de intensidad a fin de resaltar los bordes del mismo. La detección de bordes se realiza con un filtro de Roberts y, 4), una optimización basada en Hough permite detectar las líneas de los bordes.

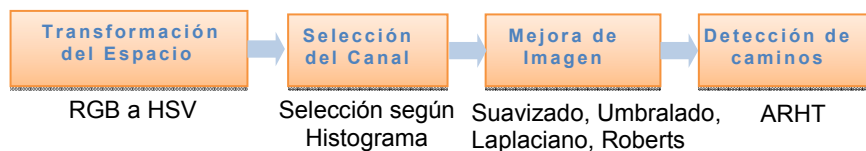


Fig 2: Método propuesto (Diagrama de bloques).

Paso 1 Transformación del espacio

Dado que en el espacio de color RGB las tres componentes están interrelacionadas y no aportan información útil en ninguno de los tres canales se aplicó a las imágenes una transformación al espacio HSV según las ecuaciones de conversión estandarizadas. Los resultados para tres caminos usados como ejemplo se muestran en la figura 3 a continuación.

Los resultados obtenidos fueron que el canal de matiz H presentó mejor definición del camino propiamente dicho respecto del entorno, por lo que se experimentó variantes de la ecuación de conversión inicial a fin de mejorar los resultados

El procesamiento de los bordes se realiza mediante la aplicación de un par de filtros de convolución: Laplaciano y Roberts. El primero ayuda a delinear los bordes de la imagen (incluido el camino) para que el filtro de Roberts pueda detectar los mismos con mayor continuidad, como se observa en la figura 7 b) y c).

Los mejores resultados en el cálculo del matiz se obtuvieron al modificar las ecuaciones de obtención del parámetro. De este modo, según el color básico predominante en cada pixel (R, G, B) se desfasa el matiz en 120, 240 o 360 grados.

Paso 2 Selección de canal por histograma

En distintos escenarios de caminos rurales las condiciones de tipo de terreno, material de construcción del camino, vegetación circundante y otros factores determinan la información específica acerca del camino que se obtendrá en los tres canales HSV. Se ha visto durante la realización de este trabajo que en ocasiones es el canal de matiz el que aporta mejor información sobre los límites reales del camino y que permitirá mejor detección de bordes del mismo. En otros escenarios la mejor información la aporta el canal de saturación. Más raramente es el canal de intensidad el que aporta información relevante.

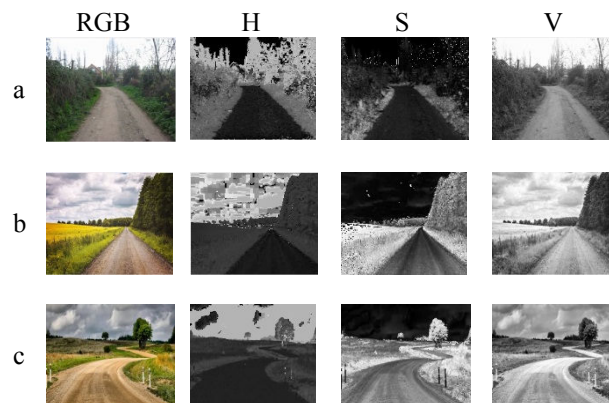


Fig 3: Resultante de conversión a HSV de tres caminos de tierra. En los tres el canal H muestra mejores resultados resaltando el camino de su entorno.

Por otro lado, en cualquier captura de escenario mediante una cámara en el frente del vehículo, la imagen del camino muestra al mismo aproximadamente en la zona inferior de la captura, quedando la zona superior relegada a reflejar información del horizonte o de la topografía lejana al vehículo como se observa en el esquema de la figura 4.

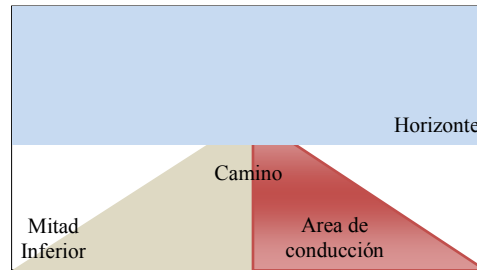


Fig 4: Regiones de interés de una imagen para detección de caminos.

En estas condiciones el histograma obtenido de la mitad inferior de la imagen para los tres canales permitirá determinar cuál de ellos aportará mayor información a los pasos posteriores de la determinación de límites.

La selección se realiza analizando la concentración de píxeles en la zona cercana al negro (aproximadamente los primeros 40 valores del histograma) y la frecuencia de los mismos (figura 5). Un histograma con picos en la zona de interés y baja frecuencia en otras zonas favorecerá mejores detecciones de bordes.

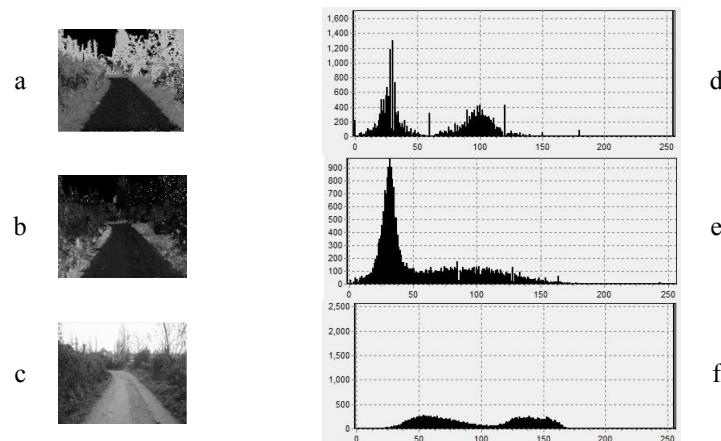


Fig 5: Histogramas de los tres canales H, S y V para el camino de la figura 2-a. d) histograma del canal H (a). e) histograma del canal S (b) y, f) histograma del canal V (c).

Para el ejemplo de la figura 5 se puede observar que el histograma del canal de intensidad (figura 5 f) no aporta información útil para la determinación de bordes. Los canales de matiz y saturación, por el contrario, si aportarán información de borde. El canal H tiene gran concentración de píxeles en la zona del negro, con picos de hasta 1400 píxeles en valores de entre 30 y 40. El canal de saturación también presenta picos en la zona izquierda pero su concentración es inferior, por un lado, y la dispersión general del histograma es mayor que para el canal H. Por lo tanto, el canal H aportará mejor información para la determinación de bordes del camino.

Paso 3 Mejora de imagen: Promediado, umbralado y detección de bordes

A fin de suavizar la imagen se aplica un filtro de convolución con matriz unidad a los vecinos de cada píxel permitiendo la disminución de detalles y ruidos sobre todo en los límites del camino. Un umbralado adicional elimina la información más iluminada de la imagen dejando solamente el perfil del camino y algunas áreas adicionales (no deseadas) correspondientes a zonas de matiz similar al del camino (figura 6).

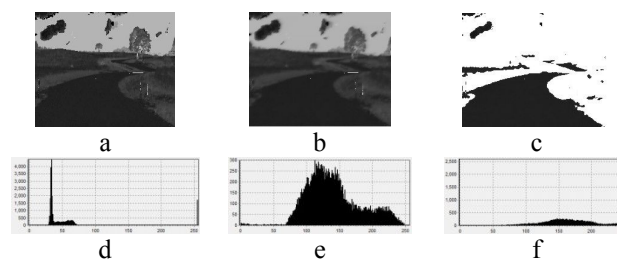


Fig 6: Suavizado (b) y umbralado (c) de la imagen de matiz H (a) para el camino de la figura 3 c).

Se muestran también los histogramas correspondientes a los tres canales donde se observa que el canal H (imagen a)) aporta mejor información de detección.

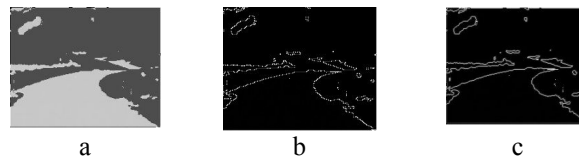


Fig 7: a) Filtro Laplaciano. b) Filtro de Roberts sin Laplaciano previo y, c) filtro de Roberts con Laplaciano previo.

Se analizaron distintas máscaras Laplacianas obteniéndose mejores resultados con una matriz de contraste general para todos los vecinos horizontales, verticales y diagonales al punto seleccionado del tipo

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & -8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

A la imagen resultante (figura 7 a)) se le aplica un filtro de Roberts según la ecuación 2 dando como resultado una imagen como la de la figura 7 c).

$$\begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\eta p_{22} = \sqrt{(p_{22} - p_{33})^2 + (p_{23} - p_{32})^2}$$

Paso 4 Detección de bordes del camino mediante Hough adaptativo

Para la detección de las líneas de los bordes del camino se usó una variante del algoritmo de detección de Hough llamado ARHT (*Adaptive Random Hough Transform*) [13][14]. Esta versión mejorada permite no sólo la detección de rectas (como lo hace Hough) a partir de la localización de puntos que cumplan con la ecuación $y=m.x+n$, sino que es capaz de adaptar la trayectoria de búsqueda de nuevos puntos candidatos para el seguimiento de curvas que cumplan con:

$$|\arctg(p0)-\arctg(p1)| < \text{threshold} \quad (3)$$

El método evalúa la posible pertenencia de un nuevo punto $p1$ a la luz de un punto de referencia $p0$. De este modo es posible calcular un conjunto de parámetros de curvatura y dirección de tangente tales que luego del muestreo de gran cantidad de píxeles se pueda elegir los parámetros más factibles.

Como resultado del algoritmo ARHT se obtienen muchos puntos candidatos y se puede encontrar el centro y radio más apropiados, que cumplan con el error límite (*threshold*) y que contenga a la mayoría de los puntos.

La aplicación del algoritmo a los casos de imágenes de caminos se muestra en la figura 8.

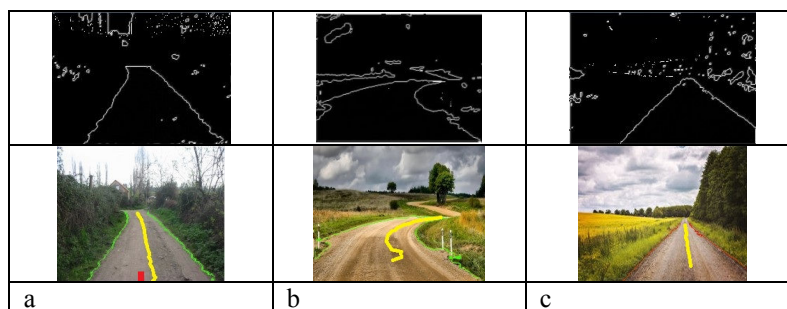


Fig 8: Resultado de la aplicación del filtro de Hough adaptativo para los tres caminos usados como ejemplos.

3. Resultados experimentales

El algoritmo para detección de caminos rurales no pavimentados ni demarcados fue testeado en dos grupos de imágenes. Un conjunto de imágenes de caminos rurales extraído de la Web, conformado por 156 imágenes, por un lado y 3000 imágenes (en grupos de 500) extraídas de seis videos capturados por una cámara fija montada en un vehículo -casos de estudio 1 a 6- recorriendo distintas travesías por senderos rurales. El algoritmo fue testeado sobre diferentes condiciones, como amanecer y atardecer, sombras, lluvia, entre otras. La resolución de las imágenes fue de 240x192 píxeles. El algoritmo fue ejecutado en un Intel i5 con 6Gb de RAM.

La estimación de acierto en la detección se realizó de forma semiautomática a partir de un algoritmo que promediaba las coordenadas horizontales de ambos bordes

(para algunas posiciones verticales dadas) para obtener una trayectoria central estimada (línea azul en la figura 8 a)). En cada análisis dicha trayectoria se compara con una referencia central (en rojo en la figura 8 a)) para la determinación de errores y aciertos. Se consideran aciertos los casos en que la trayectoria queda incluida en el *área de conducción* tal como se muestra en la figura 4.

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos de la aplicación del algoritmo a las imágenes de los casos de estudio 1 a 6.

Resultados de entre 85 y 91% aparecen frecuentemente en la literatura para análisis de este tipo de caminos rurales [5][7][9], por lo que se concluye que el proceso algorítmico propuesto presenta buen comportamiento. Es de destacar el caso del video 3 con sólo 82% de aciertos. En un análisis más profundo el camino filmado en ese video fue un camino rural con variada arboleda en los laterales, lo que introdujo mucho ruido en el proceso de detección de bordes (figura 9)

4. Conclusiones

Este trabajo es parte de un proyecto mayor orientado al desarrollo de sistemas de asistencia a los conductores a fin de reducir accidentes de tránsito. Se propone un método de reconocimiento de caminos rurales no demarcados basado en filtrado de la imagen y aplicación de una transformación de Hough adaptativa. Primeramente la imagen se convierte de RGB a HSV y se analizan las tres componentes por separado para decidir cuál aporta mejor información acerca de los bordes del camino (en general la H o la S). Luego la imagen se filtra a partir de dos filtros Laplaciano y Roberts y en último lugar se realiza la detección propiamente dicha mediante la transformada de Hough adaptativa.

Tabla 2: Resultados experimentales.

Caso de estudio	Cantidad de imágenes	Número de aciertos	Aciertos (%)
1	500	441	88.2
2	500	459	91.8
3	500	410	82.0
4	500	432	86.4
5	500	452	90.4
6	500	444	88.8



Fig 9: Imagen tomada del video 3 con arboleda lateral al camino y mucho ruido resultante.

Los tiempos de cálculo permiten procesar del orden de 10 imágenes por segundo con lo cual en una conducción a 60 km/h se tiene información del camino cada 1.66 metros. El algoritmo mostró buenos resultados en caminos secos o mojados, con

variaciones de iluminación y tipo de material constructivo (arcilla, pedregullo, estabilizado). No se obtuvieron buenos resultados con condiciones de lluvia fuerte o en casos de caminos del mismo material que la banquina (casos en que la delimitación del camino no se da por color sino por construcción: cuneta pronunciada, altura diferente, etc). La técnica propuesta permite discriminar ambas líneas laterales, izquierda y derecha. Finalmente, el uso de datos históricos de imágenes previas permite mejorar la exactitud de la detección.

Referencias

1. Red Vial Argentina, <http://www.e-asfalto.com/redvialarg/redvial.htm>
2. Asociación Civil: Luchemos por la Vida, Estadísticas, <http://www.luchemos.org.ar/>
3. CESVI Argentina, Seguridad Vial, <http://www.cesvi.com.ar/>
4. World Life Expectancy, Health Rankings, <http://www.worldlifeexpectancy.com/>
5. Zhang Wan-zhi¹, 2 and Wang Zeng-cai.: Rural Road Detection of Color Image in Complicated Environment. International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition. Vol.6, No.6, 161--168. <http://dx.doi.org/10.14257/ijcip.2013.6.6.15> (2013)
6. Wenhong Zhu, Fuqiang Liu, Zhipeng Li, Xinhong Wang, Shanshan Zhang.: A Vision Based Lane Detection and Tracking Algorithm in Automatic Drive. IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application (2008)
7. Hui Kong, Jean-Yves Audibert, Jean Ponce, Willow Team.: General road detection from a single image. IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 19, Issue 8 (2010)
8. Tobias Kuhn, Jannik Fritsch.: Visio-spatial road boundary detection for unmarked urban and rural roads. IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, 8-11 June 2014, Dearborn, MI, USA, 10.1109/IVS.2014.6856453 (2014)
9. Crisman, J., Thorpe, C.:UNSCARF-a color vision system for the detection of unstructured roads. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, . (1991)
10. Manz, M., Himmelsbach, M., Luettel, T., & Wuensche, H. J.: Detection and tracking of road networks in rural terrain by fusing vision and LIDAR. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 4562--4568. (2011)
11. Bayerl, S. F., & Wuensche, H. J.: Detection and tracking of rural crossroads combining vision and LiDAR measurements. IEEE 17th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 1274--1279. (2014).
12. S. F. X. Bayerl, T. Luettel, and H.-J. Wuensche.: Following Dirt Roads at Night Time: Sensors and Features for Lane Recognition and Tracking. Proceedings of 7th Workshop On Planning, Perception and Navigation for Intelligent Vehicles (PPNIV), IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, (2015)
13. Qing Li, Nanning Zheng, Hong Cheng.: Springrobot: A Prototype Autonomous Vehicle and Its Algorithms for Lane Detection. IEEE Transactions on Transportation System, Vol.5, No.4, 300--308. (2004)
14. Jing Lv, Yuanyuan Shang, Hui Ding.: Road Obstacle Detection Based on Randomized Hough Transform. 2nd International Conference on Teaching and Computational Science (ICTCS 2014), 72--74. (2014)