

Sistemas de guiado para colaboración en navegación de vehículos autónomos (AGV)

Mario R. Modesti

Dr en Ciencias de la Ingeniería, Universidad Tecnológica Nacional
CIII (Centro de Investigaciones en Informática para la Ingeniería)
Córdoba - Argentina
mmodesti@scdt.frc.utn.edu.ar

Sandra P. Mateus

Magíster en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín
Docente, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid
Medellín - Colombia
spmatus@elpoli.edu.co

RESUMEN: Los sistemas de guiado para vehículos autónomos tienen diferentes posibilidades y tecnologías disponibles. La que más se presta al desarrollo de sistemas de Inteligencia Artificial para la colaboración entre sistemas robotizados, es posiblemente la Visión Artificial, debido a que para la manipulación, se requiere indefectiblemente de un sistema de visión. En este trabajo, se presenta un conjunto de prestaciones desarrolladas para asistir un AGV por medio de inteligencia visual, desarrollado con técnicas neuronales y estéreo visión, dirigida a la identificación de trayectoria, detección de obstáculos y medición de distancia.

PALABRAS CLAVE: Vehículo autónomo, AGV, guiado óptico, perceptrón, backpropagation, disparidad, vista ciclópea, visión estéreo.

1. INTRODUCCIÓN

Con el objeto de desarrollar un vehículo prototipo de uso “puertas adentro” en fábrica, se presentan algunas técnicas de guiado que permitan desarrollar trayectorias, detectar obstáculos y determinar la distancia a la que se encuentran.

Las técnicas basadas en visión artificial, utilizan algoritmos de procesamiento basados en técnicas neuronales básicas y así llegar a técnicas de visión estereoscópica. Con el uso de una plataforma de simulación que permite el entrenamiento y el desarrollo de los algoritmos planteados.

Este vehículo es una plataforma de desarrollo permanente que el CIII de la Universidad Tecnológica Nacional utiliza para desarrollar sistemas robóticos colaborativos.

2. SISTEMAS DE GUIADO

Existen diferentes métodos de guiado que pueden integrarse para proveer colaboración para la navegación de un AGV por medio de la fusión sensorial. Este trabajo propone por medios de técnicas de visión artificial resolver algunas de las dificultades que se presentan para la identificación de trayectorias, en sistemas estructurados y detección y medición de distancias de obstáculos en sistemas no estructurados. Por medio de sistemas de percepción visual de bajo costo, esto es cámaras CCD, se proponen algoritmos de procesamiento de imagen que permitan obtener los resultados necesarios para la navegación del vehículo.

3. IDENTIFICACIÓN DE LA TRAYECTORIA

Se considera un sistema de guiado por medio de una trayectoria dibujada, capaz de indicar al sistema de navegación las tareas a realizar en determinadas paradas durante el recorrido.

Lo anterior se realiza, por medio de figuras geométricas determinadas. El principio operativo se basa en la determinación de la trayectoria misma (identificándola) y de las figuras que codifican las operaciones.

Esta tarea comienza, con la identificación de los bordes de las imágenes que se le presentan al sensor visual del vehículo. Se usa una estructura de guiado como se indica en la Figura 1, considerando figuras geométricas simples para las paradas y una cinta indicando la trayectoria a seguir por el vehículo.

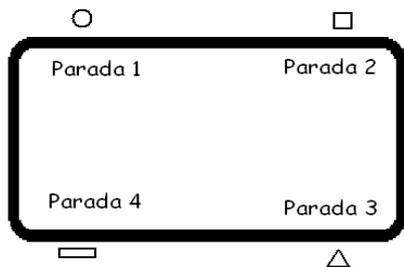


Figura 1. Trayectoria de guiado del AGV

Posteriormente, se considera una imagen arbitraria tomada por la CCD en circunstancias de movimiento sobre la trayectoria, con una figura circular representativa de la etapa correspondiente (ver Figura 2).

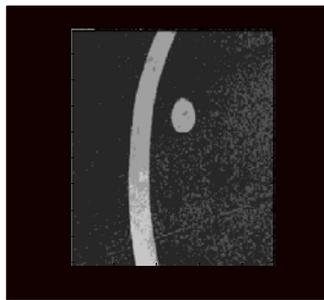


Figura 2. Imagen de trayectoria tomada por la CCD

Se usa entonces, una estructura neuronal basada en una celda tipo perceptrón, capaz de extraer los bordes de las imágenes, filtrando y desechando el ruido adicional a la información necesaria para la navegación, como se puede apreciar en la Figura 3, para una línea de aproximadamente 200 píxeles. La red neuronal se entrena basada en las condiciones que ocurren en la realidad, tales como, ruido

visual, vibraciones y la determinación del umbral de determinación del claro/oscuro que determina la individualización del borde dependerá de estas condiciones.

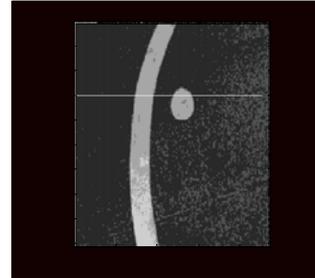


Figura 3. Extracción de una línea de la imagen

La estructura neuronal propuesta, se muestra en la Figura 4, por medio de dos neuronas perceptrón.

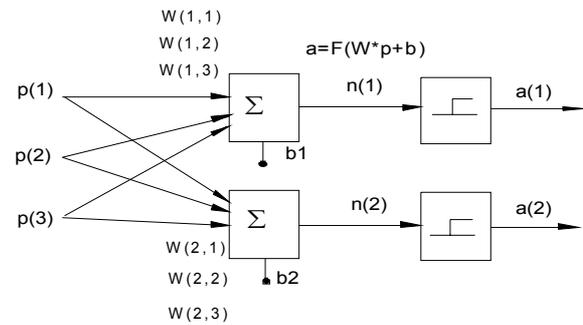


Figura 4. Estructura neuronal con perceptrón

En la Figura 5, se puede observar el resultado de la evaluación de la Figura 2.

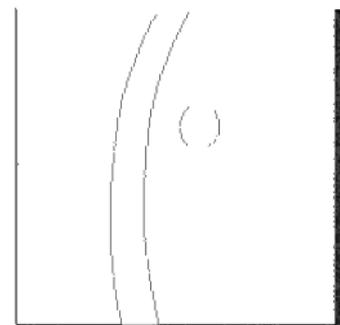


Figura 5. Extracción del borde de trayectoria

En el caso de trayectorias más complejas que requieren la determinación de decisiones, como es el caso de desvíos o rutas alternativas, se puede considerar el caso de la

Figura 5, que bien podría corresponder a una zona de estacionamiento. Esta problemática se puede resolver por medio de la determinación de patrones, con los cuales una red neuronal deberá determinar la correlación entre ambas imágenes.



Figura 5. Desvío en la trayectoria

4. DETECCIÓN DE OBSTÁCULOS

A los efectos de poder determinar la presencia de obstáculos en la trayectoria, se propone un sistema de detección de bajo costo basado en la triangulación óptica. El principio es muy simple y requiere un arreglo de punteros de luz alineados a la distancia de seguridad del vehículo, y con la CCD, se determina la presencia de puntos elevados del horizonte visual por efecto de obstáculos que interceptan el haz. La Figura 6, muestra un punto en el denominado horizonte óptico.

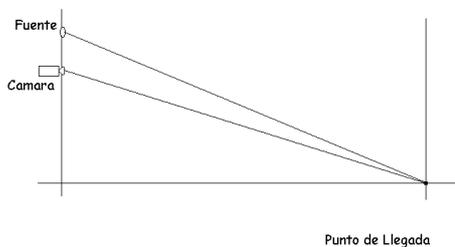


Figura 6. Observación en el horizonte

La presencia de un obstáculo en la trayectoria de avance equivale, en la imagen planar, al impacto que se verá a una cota "x" del horizonte. La construcción de un arreglo en línea de punteros láser permitiría disponer de una imagen como la de la Figura 7, donde la presencia de un obstáculo queda evidenciado por el impacto temprano del haz antes del horizonte así planteado.

La detección del obstáculo puede llevarse a cabo por medio de una red neuronal, determinando que no hay alineación entre los puntos por efecto de alguna interferencia. El punto

debería ser único a los efectos de contabilizar los pixeles de diferencia entre ellos.

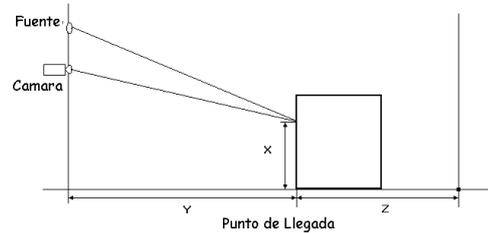


Figura 7. Observación con un obstáculo

Para evitar errores de lectura se debe verificar que exista una gran diferencia de contraste entre los puntos de medición y el fondo de la imagen. El sistema no requiere la evaluación de la imagen completa sino solamente el área de bombardeo del láser, lo que aumenta la velocidad de respuesta del sistema. Podría ser suficiente solo una franja de 20 pixeles de ancho en total en la adquisición (Ver Figura 8).

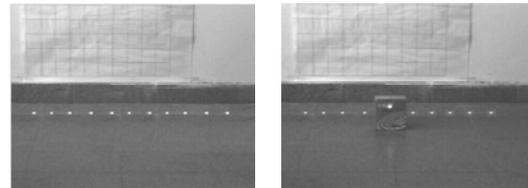


Figura 8. Presencia de un obstáculo

Se propone una red neuronal para la resolución de esta presencia, constituida por un layer backpropagation con función de transferencia sigmoideal. La información puede estar almacenada en una matriz construida con las posiciones de los pixeles respecto de la referencia. Se considera referencia los puntos que se encuentren alineados a cota más baja.

Una posibilidad para construir la matriz, es realizar el tratamiento de discriminación antes para determinar la presencia o no del punto sobre la línea. En este caso los puntos que estén dentro de la línea serán considerados como "1" y los que estén fuera como "0". La matriz en este caso podría ser para la imagen

hipotética de 10 puntos de detección con un obstáculo en la posición número cinco de la grilla de detección $[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$

La aplicación resuelve la presencia por medio de la obtención del vector solución, pero también provee información de la distancia por aplicación de trigonometría en la Figura 7

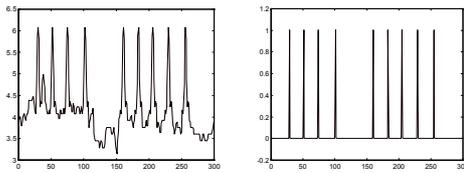


Figura 9. Solución de la red neuronal

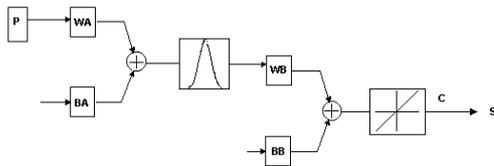


Figura 10. Estructura neuronal con backpropagation

La figura 9 muestra la evaluación de los diez punteros propuestos y la figura 10 la solución obtenida por la red neuronal.

5. MEDICIÓN DE DISTANCIAS

5.1. Visión estereoscópica

El objetivo fundamental en una visión tridimensional es obtener un mapa de profundidad, consistente en un arreglo bidimensional de píxeles que codifican la profundidad de la vista de la escena.

En los últimos años, la digitalización de datos de profundidad fue obtenida mediante sistemas activos y pasivos. Los sistemas activos fueron dominados por las técnicas de “laser time of flight” y triangulación.

Considerando que la principal técnica pasiva ha sido “stereo ranging”, la profundidad proveniente del movimiento que emplea solamente una imagen 2D, realiza comparaciones

entre ellas. En la medida que se desarrollaron técnicas simples de bajo costo de cómputo, la evolución de procesadores cada vez mas veloces y de mayor capacidad de memoria permitió trabajar con imágenes mas complejas y a mayor velocidad. La incorporación de una segunda CCD, permite por medio del análisis de disparidad desarrollar técnicas de visión estéreo capaces de analizar el entorno con capacidades similares a la visión humana.

5.2. Vista Ciclópea

Una de las más asombrosas propiedades de estéreo visión del ojo humano es la fusión de las vistas izquierda y derecha de la escena en una simple ciclópea.

Cuando ambos ojos perciben el mundo desde las ligeras variaciones de las perspectivas diferentes, el cerebro no puede simplemente superponer las dos imágenes ya que ambas no son perfectamente concordantes.

5.3. Disparidad

Las ligeras diferencias de perspectiva entre la información percibida por ambos ojos con desplazamientos relativos de los objetos en la vista monocular de una escena, permiten concatenado al tamaño y dirección de tal disparidad, la medición de su profundidad. La información de profundidad absoluta puede ser obtenida, si se conoce la geometría del sistema de imagen. La diferente perspectiva de nuestros ojos, permite guiar con los leves desplazamientos relativos de los objetos, en las dos vistas monoculares de la escena.

En el modelo más simple, el sistema se compone de dos cámaras, considerando que las mismas están posicionadas a eje X en el sistema de referencia, con los planos de imagen sobre el plano XY. Las cámaras apuntando en dirección de eje Z, de modo tal que sus ejes ópticos sean paralelos y separados una distancia **d**.

La triangulación determina la posición de un punto sobre un objeto (punto observado) de-

terminando el triángulo formado entre el punto observado **P** y los centros ópticos del sistema de observación **XL** y **XR**. La información de profundidad del punto **P** está codificada en la diferencia de posición (disparidad) en los dos planos de imagen (Ver Figura 11).

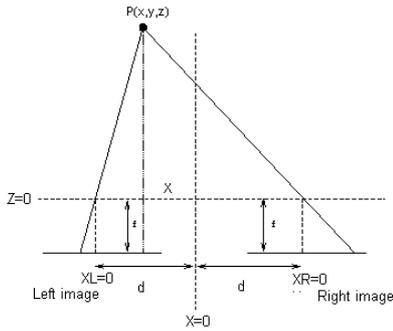


Figura 11. Principio de disparidad

El sistema visual humano es capaz de utilizar esta disparidad para la estimación de la profundidad, combinando ambas vistas monoculares en una fusión ciclópea de la escena.

La correcta y más rápida estimación de la disparidad es un problema de dificultades importantes, a la par, de las disparidades de las escenas, existen variaciones adicionales de la misma entre la vista izquierda y derecha de la escena, que responden a oclusiones del objeto, reflexiones especulares, ruidos del sensor y otras causas no menos importantes.

Las expresiones analíticas utilizadas, para obtener la distancia por medio de la disparidad, se pueden observar en la Ecuación 1.

$$X_L = \frac{-(d+x)f}{z} \quad X_R = \frac{(d-x)f}{z} \quad (1)$$

$$z = \frac{2df}{X_R - X_L}$$

Como se puede apreciar en la Figura 12, la distancia obtenida es inversamente proporcional a la disparidad.

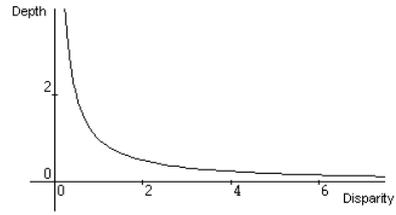
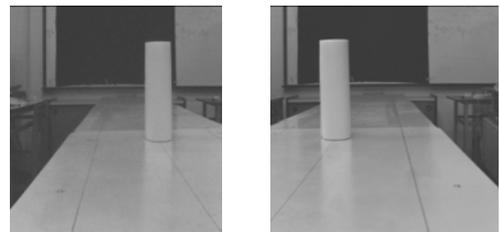
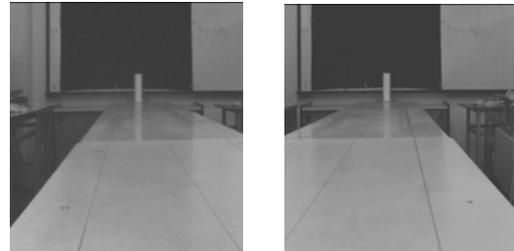


Figura 12. Profundidad Vs. Disparidad

Se dispuso de ambas imágenes, sean izquierda y derecha de un objeto posicionado a determinada distancia, como se aprecia en la Figura 13. En la Figura 13 a., se observa el primer par de imágenes tomadas en la cota inicial. En la Figura 13 b., se observa el segundo par de imágenes tomadas a mayor distancia.



a.



b.

Figura 13. Imágenes de la posición de los objetos

En la Figura 14, se procede a determinar una escala de correspondencia de color a profundidad.

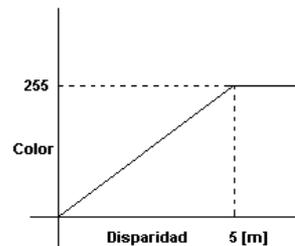


Figura 14. Color Vs. Disparidad

En la Figura 15, se muestra el resultado obtenido para la escala discreta de color para las imágenes de las Figuras 13 a. y 13 b. respectivamente.

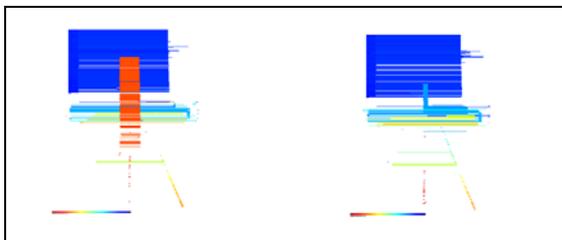


Figura 14. Mapa de color de profundidad

6. CONCLUSIONES

Las mediciones de profundidad por medio de correspondencia entre dos o más imágenes tienen muchas ventajas, entre ellas, el que es un sistema pasivo, que no emite ningún tipo de energía radial o lumínica.

En este trabajo, un sistema estereoscópico mide la distancia que lo separa del objeto en el espacio observado y la medición se produce por medio de triangulación midiendo el paralelaje entre dos imágenes obtenidas y tomando el objeto de dos posiciones diferentes, separados una distancia suficiente.

7. REFERENCIAS

[1] Modesti, Pedrazzini, Canali, Destéfani. "Stereo system for distance measurements applied to autonomous vehicle guidance", 2nd International Symposium on Robotics and

Automation ISRA, Monterrey – México, 2000.

[2] Modesti, Pedrazzini, Canali, Destefanis. "Calibración de un sistema de visión estéreo para navegación de un AGV", XVII Congreso Argentino de control Automático AADECA, Buenos Aires – Argentina, 2000.

[3] Modesti, Canali. "A low cost obstacle Detector for AGV using neural networks", International Symposium on Robotics and Automation ISRA, Coahuila – Mexico, 1998.

[4] Destefanis, Canali, Candiani, Modesti. "Flexible trajectory for low cost AGV with obstacle detection", VII Reunión de trabajo de Procesamiento de la información y Control RPIC, San Juan – Argentina, 1997.

[5] Modesti, Destéfani., Canali., Candiani. "Image edge extraction for vehicle guidance using neural networks", VII Reunión de trabajo en Procesamiento de la información y control RPIC, San Juan – Argentina, 1997.

[6] Destefanis, Candiani, Canali, Modesti. "Monocular vision for low cost vehicle guidance", 7^{mo} Congreso Latinoamericano de Control Automático. LACC – IFAC, Buenos Aires – Argentina, 1996.

[7] Canali, Candiani, Destefanis, Modesti. "A simple control strategy for an AGV guidance system", "4th Symposium Low Cost Automation" IFAC, Buenos Aires – Argentina, 1995.