

# ALGORITMOS GEOMÉTRICOS PARA LA PLANIFICACIÓN DE TRAYECTORIAS.

Alfonso Cuesta Hernández, Dr. Daniel Mocencahua Mora.  
Facultad de Ciencias de la Electrónica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.  
Av. San Claudio y 18 Sur, Colonia San Manuel. Puebla, Pue. CP. 72590.  
acuesta@ece.buap.mx, dmocencahua@ece.buap.mx

Dr. Domingo Vera Mendoza  
Universidad Tecnológica de Puebla.

## RESUMEN

En este trabajo se presenta la implementación de tres algoritmos geométricos para la planificación de trayectorias de robots móviles: Sonka, Engrosamiento por Rodamiento, y Segmentación por Celdas. Además, se describe como interactúan éstos para poder generar una trayectoria libre para un robot en un espacio de trabajo conocido.

Se muestran los resultados obtenidos para algunas situaciones particulares concernientes a trabajos de investigación en curso.

## 1. INTRODUCCIÓN.

El problema del trazado de trayectorias para robots cuya principal característica es la de ser móviles ha sido un reto en los últimos años. Aunque existe una gran cantidad de artículos y libros que abordan el problema y proponen una variedad de soluciones al mismo, desde muchos puntos de vista, en este trabajo se propone una combinación de varios algoritmos de implementación computacional sencilla, encontrados en la literatura clásica del tema, para lograr hacer que un robot móvil, o simplemente *móvil* como se le llamará de ahora en adelante, pueda alcanzar una posición objetivo en un espacio de trabajo conocido, al sortear los obstáculos que se le presentan.

## 2. PRELIMINARES.

Se supone de entrada, que la información acerca del espacio de trabajo es una imagen obtenida por medio de una cámara o dispositivo similar el cual está situado encima del mismo y que cualquier aberración visual u óptica que pueda agregar el dispositivo es corregida previamente. Además el móvil tiene una forma conocida y tiene características no ideales en cuanto a su movilidad.

Considerando lo anterior, mediante la aplicación de estos algoritmos se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

1. Evitar que el móvil se pueda atollar en algún obstáculo del espacio de trabajo.
2. Encontrar el espacio libre por el cual el móvil pueda desplazarse hasta su objetivo final.
3. Encontrar las diversas trayectorias contenidas dentro del espacio de trabajo que el móvil pueda seguir.

El punto número uno se alcanza mediante la aplicación del *Algoritmo de Sonka* [5][3], que a grandes rasgos lo que hace es encontrar la envoltura convexa del objeto-obstáculo en cuestión de tal manera que cualquier “bache” del objeto es “rellenado” por una forma de mayor suavidad.

El punto número dos se alcanza mediante la aplicación del *Algoritmo de Engrosamiento de Objetos por Rodamiento* [4], el cual, como su nombre lo indica, engrosa los objetos dentro de un espacio de trabajo de tal manera que el resto del espacio es totalmente libre y presenta el mínimo o nulo riesgo para el desplazamiento de cualquier objeto, en nuestro caso del móvil.

Por último, el punto número tres se alcanza mediante la aplicación del *Algoritmo de Segmentación por Celdas* [4]. Éste pretende encontrar los puntos dentro del espacio libre tales que al unirlos todos, conformen, a groso modo, un conjunto de trayectorias posibles para el móvil. Por sencillez consideramos que el inicio de cualquier recorrido se encuentra en el origen del espacio de trabajo y que el fin de cualquiera de los mismos se encuentra en la esquina contraria.

### 3. ALGORITMO DE SONKA.

Supóngase un obstáculo dentro del espacio de trabajo cuya geometría es no-convexa, es decir, que se puede encontrar una línea recta tal que al cortar el objeto lo toca en más de dos puntos sobre su borde. Para nuestro trabajo, los objetos como se describen presentan un gran inconveniente, por lo que es deseable que estos adquieran una característica convexa sin la agregación de área o pérdida significativa de las características morfológicas.

El algoritmo de Sonka [5] es una solución sencilla y de entendimiento natural para este problema y se describe en los siguientes pasos:

1. Tómese un obstáculo dentro del espacio de trabajo.
2. Encuéntrense todos los píxeles del obstáculo con el mínimo valor de ordenada y a continuación encontrar el píxel  $P_l$  con el mínimo valor de abscisa. Asignar  $P_k = P_l$  y  $v = (0, -1)$ ; la pareja ordenada  $v$  representa la dirección del segmento de línea anterior de la envoltura convexa.
3. Buscar en sentido de las manecillas del reloj los puntos de la frontera de la región y obtener la orientación del ángulo  $\theta_n$  para cada punto del borde  $P_n$  encontrado en la dirección del punto  $P_l$  en la dirección de búsqueda. La orientación del ángulo  $\theta_n$  es el ángulo del vector  $P_k P_n$ . El punto  $P_q$  que satisface la condición  $\theta_q = \min_n (\theta_n)$  es un elemento (vértice) de la envoltura convexa.
4. Asignar  $v = P_k P_q$ ,  $P_k = P_q$ .
5. Repetir los pasos 2 y 3 hasta que  $P_k = P_l$ .

### 4. ALGORITMO DE ENGROSAMIENTO DE OBJETOS POR RODAMIENTO.

Supóngase que tenemos un espacio de trabajo con características como las que se describieron anteriormente, ahora agréguese el factor de que el móvil no puede hacer cambios muy bruscos de dirección ni de velocidad, por lo tanto, cuando el móvil intente evitar un obstáculo en su camino no podrá simplemente acercarse al mismo y de pronto, cambiar dirección; la inercia o cualquier otro factor no-ideal hará que fallemos en nuestra prueba. Sin embargo, si pudiéramos agregar información extra acerca del área que ocupa el obstáculo sin perder las características morfológicas del mismo evitaríamos así fallar en la tarea. Ésta idea ha sido descrita por Latombe

en su libro [4] mediante el algoritmo que lleva por nombre el de esta sección y que es descrito en los siguientes pasos:

1. Considérese un espacio de trabajo fijo y una forma poligonal para el móvil.
2. Encuéntrese el círculo de radio mínimo tal que la forma poligonal que describe al móvil quede contenida en el mismo.
3. Para cada obstáculo en el espacio de trabajo, colóquese el centro del círculo en la esquina más cercana al origen del espacio y mueva el círculo en sentido contrario a las manecillas del reloj y tomando como guía al borde del obstáculo hasta alcanzar el inicio de este recorrido.

Como se puede ver, al seguir estos pasos la información acerca de la forma del obstáculo no se pierde, hasta cierto grado, y el área que ocupa éste crece en proporción directa al radio del círculo que contiene a la forma del móvil.

### 5. ALGORITMO DE SEGMENTACIÓN POR CELDAS.

Una vez que el espacio libre ha sido definido con el algoritmo anterior, se necesita encontrar las trayectorias más factibles y seguras para que el móvil alcance su objetivo final. Considérese que los puntos de dichas trayectorias son los puntos medios del vacío entre el borde del espacio de trabajo y un obstáculo o el vacío entre dos de ellos. En sustitución de la palabra vacío utilizaremos de ahora en adelante la palabra *pozo* para describir tal entidad. Para encontrar los puntos medios de los pozos se siguen los pasos a continuación presentados:

1. Se toma un espacio de trabajo fijo y un ancho de celda también fijo.
2. Se barre la imagen en sentido positivo vertical y se buscan los puntos de inicio y fin de los pozos mediante la detección de transiciones objeto a fondo y fondo a objeto dentro de este avance.
3. Encontrados las coordenadas de los bordes de los pozos se procede a calcular los puntos medios de los mismos mediante la fórmula utilizada en geometría analítica.
4. Se avanza en sentido horizontal positivo saltando el ancho fijo de la celda hasta llegar al borde del espacio de trabajo.

## 6. IMPLEMENTACIÓN DE LOS ALGORITMOS.

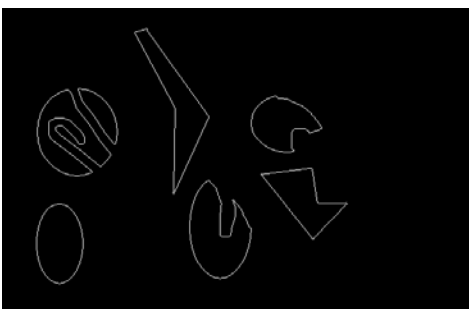
Como parte fundamental de éste trabajo, se implementaron los algoritmos antes descritos y se analizaron los resultados.

Para dicho trabajo se utilizó Matlab en su versión 6.0 utilizando su toolbox de procesamiento de imágenes. Aunque la velocidad del código generado en Matlab es bastante lenta, se escogió dicho programa pues lo que se pretendía observar desde el principio era la factibilidad y funcionamiento de los algoritmos y no tanto utilizarlos en una planificación de tiempo real.

A continuación se presentan una serie de imágenes de los resultados de cada algoritmo, tal como los presenta Matlab.



**Ilustración 1.** Imagen introducida al algoritmo de Engrosamiento



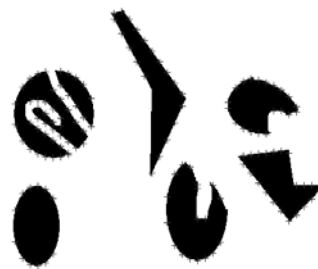
**Ilustración 2.** Bordes de los obstáculos. Algoritmo de engrosamiento



**Ilustración 3.** Obstáculos rodados. Algoritmo de engrosamiento



**Ilustración 4.** Rellenado final para los objetos engrosados. Algoritmo de engrosamiento



**Ilustración 5.** Bordes de las celdas (marcados con cruz) para un espaciado de 10 píxeles. Algoritmo de Segmentación por Celdas



**Ilustración 6.** Trayectorias generadas por el Algoritmo de Segmentación por Celdas

Como se observa, no se presentan resultados prácticos de la implementación del algoritmo de Sonka, esto se debió a la complejidad del mismo; por lo que su análisis e implementación se proponen en un futuro cercano y en otro trabajo escrito.

## 7. CONCLUSIONES.

El problema del trazado de trayectorias para robots móviles es uno complejo y con muchas respuestas posibles. La utilización combinada de estos tres algoritmos como una forma de solucionarlo resulta conveniente cuando no se necesita un procesamiento de la información en tiempo real; por lo tanto, estos algoritmos preparan la información del entorno de trabajo para su posterior utilización por algoritmos de más bajo nivel.

El algoritmo de Sonka presenta un reto para implementarlo, subestimarlos, puede llevar a la obtención de resultados erróneos. Cabe remarcar que durante el curso de ésta investigación se encontraron una gran cantidad de referencias a sitios web donde la discusión acerca del mismo es intensa y, a veces, acalorada.

La interacción de los tres algoritmos presentados nos lleva a obtener información de trayectorias más seguras, confiables y optimizables para nuestro móvil. Con esto queremos decir, que el procesamiento de la información para el desarrollo del mismo no se queda aquí, más adelante se pretende avanzar en el análisis de criterios optimales para el trazado de las trayectorias obtenidas hasta este punto, siguiendo diversos criterios marcados por el mundo real: energía, velocidad, aceleración y tiempo.

Por último, el trabajo que aquí se presenta es sólo una parte de una investigación de tesis de licenciatura que se lleva a cabo durante la presentación de este trabajo y que pretende analizar el problema fundamental de la robótica móvil desde otros puntos de vista. Este es, pues, sólo el comienzo.

## REFERENCIAS.

- [1] Fu, K.S., et. al; *Robótica: Control, detección, visión e inteligencia*, McGraw-Hill, Mx., 1998.
- [2] Mathworks, inc.; *Image Processing Toolbox. User's guide.*, The Mathworks Inc., 2000.
- [3] Pajares, Gonzalo; De la Cruz, Jesús M.; *Visión por Computador*, ed. RA-MA, Esp., 2001.
- [4] Jean Claude Latombe; *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Press. Netherlands. 1991.
- [5] Salazar, Aida; *Planificaciones geométrica y cinemática de trayectorias de robots móviles (tesis)*, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, 2002.