

Metodologías de Campos de Potencial para el Planeamiento de Trayectorias en Robots Móviles

Diego Alexander Tibaduiza Burgos* Nayibe Chio Cho*

Fecha de Recibido: 25/06/2008 Fecha de Aprobación: 25/10/2008

Resumen

En este artículo se presentan dos metodologías de trabajo con campos de potencial para el planeamiento de trayectorias de robots móviles. Estas metodologías tratan el terreno sobre el cual se mueve el móvil como un área que esta sometida a diferentes fuerzas de atracción y repulsión, aprovechando esta característica es posible encontrar trayectorias libres. Las estrategias presentadas pueden ser usadas en la búsqueda de caminos en terrenos estáticos y dinámicos con algunas modificaciones.

Palabras clave: *Campos de potencial, robótica móvil.*

Abstract

This paper introduce two methodologies of work with fields of potential for the path planning of mobile robots. This methodology take the area on which the moving body like an area moves that this submissive different forces from attraction and repulsion, taking advantage of this characteristic is possible to find trajectories free. This strategies can be used in the search of ways in static and dynamic lands with some modifications.

Keywords: *Potencial Fields, Mobile Robotic.*

1 Introducción

Cada vez más los vehículos de transporte autónomos usados en aplicaciones industriales así como recreativas son más frecuentes en nuestro medio. Como es de suponerse los robots industriales deben ser hábiles al moverse en un terreno, desde una posición y orientación inicial a otra posición y orientación final, sin colisionar con algún objeto que se encuentre en su movimiento. Los métodos aconsejados de colisión pueden ser clasificados en dos tipos: 1) Técnicas de Planeamiento de Caminos, y 2) Técnicas evitando obstáculos.

Generalmente, las técnicas de planeamiento de caminos están relacionadas con el que hacer, antes de que el Robot se mueva,

* Universidad Autónoma de Bucaramanga, Calle 48 No. 39-234 Barrio el jardín. Tel: 6436111, ext.298-343, {dtibaduiza,nchio}@unab.edu.co.

generando una trayectoria usando un algoritmo de búsqueda, para encontrar la ruta óptima, es decir la menor trayectoria y que este libre de colisiones. En el otro caso, las técnicas de esquivar obstáculos están asociadas a esas prácticas que son hechas cuando los Robots están en movimiento.

La técnica más popular es usar el Campo de Potencial Aproximado. Esta técnica es usada para guiar al Robot dirigiéndolo a un objetivo al tiempo que evita los obstáculos. Estos métodos de control usan la suma vectorial de la fuerza de repulsión virtual (debido al obstáculo) y la fuerza de atracción virtual (debida al punto final) para guiar al Robot. Cabe anotar que si el modelo cinemático del robot esta disponible pero el modelo dinámico es desconocido, el uso de este método no es viable.

2 Estado del Arte

La investigación en detección de colisiones y planificación de caminos es un área de gran interés en la robótica dada la versatilidad que le brinda al robot en el desarrollo de sus tareas dotándolo de cierta confiabilidad. El que un robot conozca su entorno le brinda la posibilidad de poder mediante un algoritmo como el que se describe en este artículo de evitar colisiones y de poder hacer una revisión de las posibles rutas existentes entre dos puntos del área de trabajo.

Actualmente la gran cantidad de robots que se construyen están dotados de sensorica que les permite conocer el entorno. Estos sensores pueden brindar información local o información global para detección de obstáculos lo que permite tener estrategias de planeamiento para movimientos cercanos o para la definición de una trayectoria completa en un área de trabajo.

Entre algunos trabajos realizado en robótica en el área de planeamiento de caminos se puede hablar de métodos como el modelado mediante ocupación de celdas [1] el cual se trata simplemente de la división del espacio de trabajo en celdas cuyo tamaño se define de acuerdo a las necesidades y se marca cada celda como ocupada o no por un obstáculo, con esto conociendo el espacio libre se puede calcular la trayectoria. Otra metodología usada es el empleo de estructuras jerárquicas [2],[3],[4],[5] donde se usan estructuras de datos llamados octrees y quadrees que básicamente consisten en ir dividiendo el espacio de trabajo en volúmenes de cuatro u ocho hasta encontrar una resolución adecuada.

Los modelos del entorno basados en primitivas 3-D sólidos son otro tipo de estrategia existente en robótica [6],[7],[8]. Esta modela el robot y su entorno usando elementos geométricos básicos tales como esferas, cilindros, paralelepípedos, etc.

Otras opciones que se pueden encontrar son usar modelado por espacio de configuraciones, detección empleando modelo, planificación basada en el modelo geométrico y uso de métodos reactivos como el que trata este artículo el cual es campos de potencial. En el caso del primero de estos métodos se entiende al robot y su entorno como elementos geométricos en el plano para los cuales este espacio puede ser de orden dos o tres dependiendo de si el móvil puede rotar[9]. El segundo de estos métodos hace referencia a la determinación de la intersección entre los espacios ocupados por el robot, su carga y los objetos de su entorno [10],[11],[12].

En planificación basada en el modelo geométrico se trata de hacer que el robot se desplace de un punto inicial a uno final minimizando la longitud entre estos. Es así como por ejemplo se encuentran aplicaciones en el espacio cartesiano y en el espacio de configuraciones.

Los campos de potencial han sido ampliamente usados tanto en robots manipuladores como en robots móviles. Estos consideran el espacio de trabajo como elementos que tienen polaridad, acá los obstáculos poseen fuerzas repulsoras y el punto de llegada fuerza atractora [13],[14]. Es posible manejarlo también teniendo en cuenta las velocidades en la cercanía de un obstáculo [15]. Esta metodología es posible usarla de manera local y global con excelentes resultados [16] así como para planeamiento on-line como off-line.[17].

Las aplicaciones de los campos de potencial son variadas, por ejemplo en [18] se muestra una aplicación de los campos de potencial para el sistema de guiado de un robot móvil con ruedas llamado TetraNauta cuyo uso es el transporte de personas con discapacidades físicas. En la trayectoria existen marcas en el piso.

En [19], [20],[21] se muestran las aplicaciones de los campos de potencial implementados y que trabaja en tiempo real de un campo de potencial virtual en vehículos autónomos no tripulados (AGV).

En [22] se encuentra descrita una estrategia de control deslizante para ajustar el gradiente en un campo de potencial. En este artículo se afirma que aplicar control deslizante garantiza que se pueda trabajar sistemas robóticos holonómicos completamente actuados de n grados de libertad.

Existen adicionalmente otro tipo de estrategias para el planeamiento de caminos de reciente aplicación basados en sistemas de control inteligente como los algoritmos genéticos, la lógica difusa y las redes neuronales que no se abordarán en este breve estado del arte.

3 Metodologías de Campos de Potencial

En este caso se representa un Robot Móvil que usa un método técnico - teórico de Campos Potenciales para operar con capacidad de evasión de obstáculos, donde el Campo Potencial es tomado como un vector de distancia útil para computar los comandos de velocidad. El método es muy útil para direccionar a un Robot dentro de una infraestructura de ambiente con la presencia de obstáculos fijos y móviles. Modelado en MATLAB y SIMULINK.

3.1 Postura del Robot

La posición del Robot esta completamente descrita por las variable x , y , y θ como se muestra en la Figura 1.

P es un punto fijo en la plataforma del Robot, el cual esta representado por las coordenadas (x, y) con respecto al marco global fijado $(0, x, y)$. El movimiento del marco del sistema $(P, x1, y1)$ es importante en arreglo con el punto P , θ es el ángulo de orientación del sistema del Robot. Respecto al eje general medido desde el eje x al $x1$.

3.2 Definición del problema

En este caso se podría usar (xf, yf) definido como la posición final del Robot, lo que permite que la orientación final de el Robot sea buscada por el camino de técnicas de planeamiento. Entonces, en este caso, el problema directo es llevar al Robot de una posición inicial a una final (objetivo) mientras esquiva un obstáculo móvil definido como una postura especifica (xi, yi, θ_i) buscando la posición (xf, yf) .

Este problema puede ser descrito de diferentes maneras. A continuación se muestran dos metodologías que pueden ser usadas para una campo de potencial

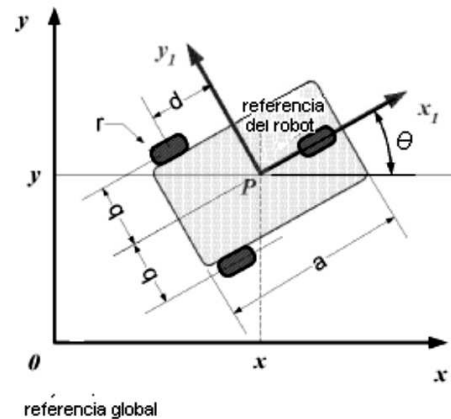


Figura 1. Definición de la Posición.

3.3 Implementación

La implementación del algoritmo de campos de potencial se puede abordar de la siguiente manera [27]:

- El entorno que rodea al Robot se divide regularmente en zonas cuadradas.
- Se define una matriz o mapa con tantas celdas como zonas.
- Sobre cada celda se sitúa un vector que define la fuerza asociada al Campo en ese punto del entorno.
- De cada vector se considera su magnitud m y su dirección d .
- Cada comportamiento genera un Campo de Potencial de los cuales se derivan las fuerzas F que determinan el movimiento del Robot

Se asume que el robot está en un punto y y que se desea conocer la orientación para moverlo hasta el punto final en 2D (x,y) . Para esto se asume que el gradiente del campo de potencial tiene componentes en x y en y tal como se muestra en la ecuación 1

$$\nabla U = \begin{bmatrix} \frac{\partial U}{\partial x} \\ \frac{\partial U}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

El campo de potencial que actúa sobre el robot está compuesto del campo de atracción del objetivo y los campos de repulsión del punto de llegada[27,28]. Ver ecuación 2.

$$U(q) = U_{atracción} + U_{repulsión} \quad (2)$$

Las fuerzas pueden ser separadas en fuerzas atractoras y fuerzas repulsoras de la siguiente manera (Ecuaciones 3 y 4):

$$F(q) = F_{atracción}(q) - F_{repulsión}(q) \quad (3)$$

$$F(q) = -\nabla U_{atracción}(q) - \nabla U_{repulsión}(q) \quad (4)$$

3.3.1 Comportamiento al ir hacia el Objetivo

La fuerza atractora se puede expresar como una función parabólica como en la ecuación 5:

$$U_{atracción}(q) = \frac{1}{2} k_{atracción} * \rho_{objetivo}^2(q) \quad (5)$$

Donde $k_{atracción}$ es un factor positivo y $\rho_{objetivo}(q)$ es la distancia euclideana $\|q - q_{objetivo}\|$.

Esta potencial atractor es diferenciable y conduce a la fuerza atractora Fatractora de la ecuación 6, cuya reducción se muestra en las ecuaciones 7 y 8.

$$F_{atractora} = -\nabla U_{atractora}(q) \quad (6)$$

$$F_{atractora} = -k_{atractora} * \rho_{objetivo}(q) * \nabla \rho_{objetivo}(q) \quad (7)$$

$$F_{atractora} = -k_{atractora} (q - q_{objetivo}) \quad (8)$$

Con esto se busca que la fuerza converja hasta cero en el punto de llegada de manera lineal. Ver figura 2.

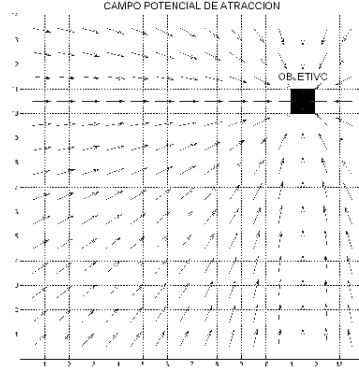


Figura 2. Campo de Potencial de atracción referente al punto de llegada.

3.3.2 Comportamiento al esquivar el Obstáculo

En el caso de los obstáculos actúa la fuerza repulsora, la cual se puede describir por medio de la ecuación 9.

$$U_{repulsora} = \begin{cases} \frac{1}{2} k_{repulsión} \left(\frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 & \text{si } \rho(q) \leq \rho_0 \\ 0 & \text{si } \rho(q) \geq \rho_0 \end{cases} \quad (9)$$

Donde $k_{repulsión}$ es un factor de escala $\rho(q)$ es la mínima distancia entre el punto q y el objeto. ρ_0 es la distancia de influencia del objeto. La función de potencial de repulsión $U_{repulsión}$ tiene valores positivos o cero y tiende a infinito cuando el objeto encierra la trayectoria.

La fuerza de repulsión se puede definir como en la ecuación 10.

$$F_{repulsión}(q) = -\nabla U(q) \quad (10)$$

si $\rho(q) \leq \rho_0$

$$F_{repulsión} = \left\{ k_{repulsión} \left(\frac{1}{\rho(q)} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho^2(q)} * \frac{q - q_{obstaculo}}{\rho(q)} \right\} \quad (11)$$

Y vale "0" si $\rho(q) \geq \rho_0$

En las figuras 3, 4, 5a y 5b se puede apreciar los campos de potencial para los obstáculos, el campo de potencial de un área de trabajo sin obstáculos, la combinación de estos dos y el resultado final teniendo en cuenta las acciones de cada cual en la generación de la trayectoria respectivamente.

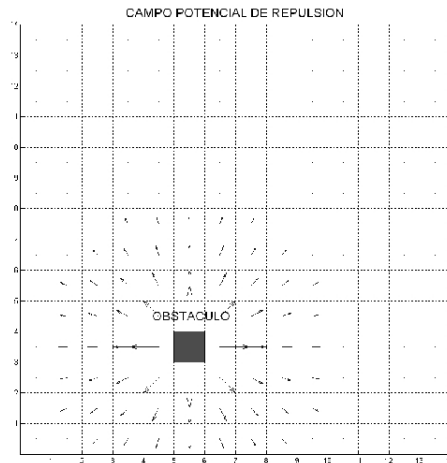


Figura 3. Campo de Potencial de repulsión referente a la ubicación del obstáculo.

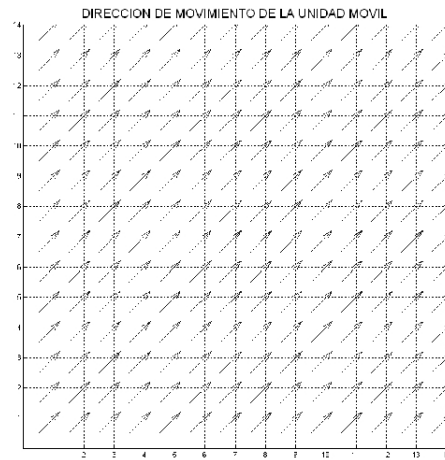
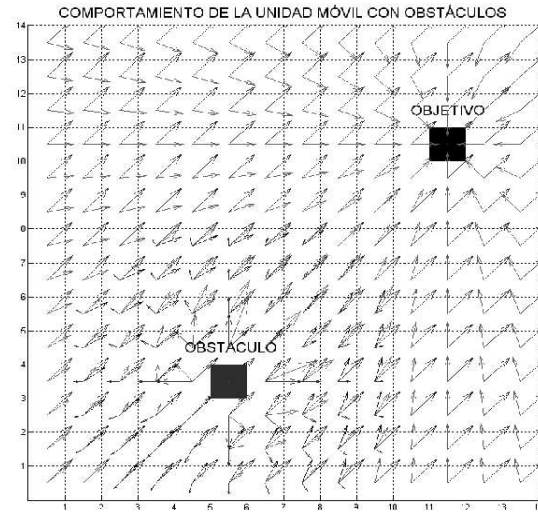


Figura 4. Campo de Potencial uniforme referente a la dirección del movimiento del Robot



(a)

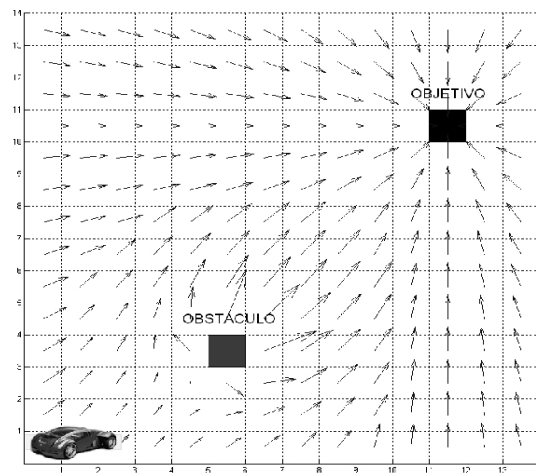


Figura 5. (a) Campo de Potencial (b) Resultante.

Al extender el algoritmo se pueden obtener trayectorias para un mayor número de obstáculos, aplicando la misma lógica de calcular vectores entre cada uno de los trayectos inicio – obstáculo1, obstáculo1 – obstáculo2, ..., obstáculo n - objetivo y escoger el camino óptimo producto de la suma y ponderación de los vectores de navegación. [29,30] Ver figura 6.

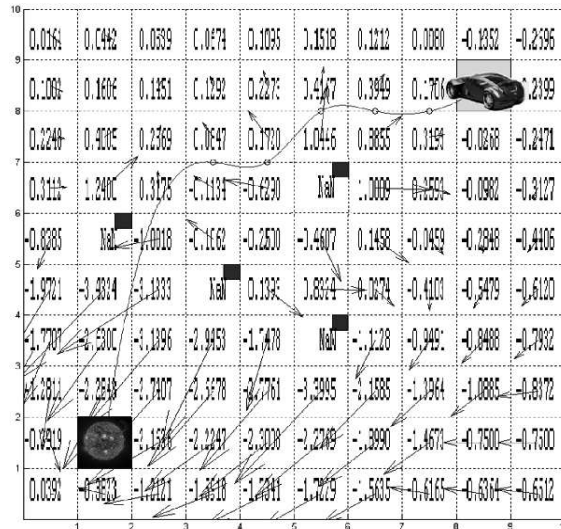


Figura 6. Visualización del comportamiento del Campo de Potencial en un área de exploración de 10x10 y un número de cuatro obstáculos.

Otro de los sistemas que se plantean en este trabajo brinda una metodología para construir un sistema de Campos de Potencial en el que se aplica el manejo de matrices permitiendo emular un gradiente para la obtención de una trayectoria que servirá para moverse de un punto a otro, y el cual consta de las siguientes consideraciones[23][24]:

Existe una discretización del terreno.

Cada punto de la pista se considera afectado por un valor numérico que indica la relación de este con el punto de llegada.

De acuerdo a la distribución numérica asignada, la trayectoria se hace siguiendo un potencial descendente o ascendente.

El algoritmo se realiza de la siguiente manera:

Iniciar programa

Inicializar variables

Leer y ubicar puntos importantes del terreno sobre la matriz

Construir potencial para el punto de llegada

Construir potencial para cada obstáculo

Mover punto de inicio hacia un potencial menor o igual y guardar ese movimiento hasta encontrar el punto de llegada

Terminar

El algoritmo puede ser on-line si se realiza actualización del área de trabajo de manera dinámica, por lo cual es necesario realizar todos los pasos descritos anteriormente para cada actualización.

Para el caso off-line sólo se cargan los datos al inicio del proceso y se trabaja teniendo en cuenta que el área de trabajo es estática.

Al punto de inicio y al de llegada se le asignan unos valores que dependen de cómo se quiera implementar el algoritmo.

3.3.3 Campo de Potencial alrededor de un obstáculo

Una vez ubicado el obstáculo dentro de la matriz es necesario dar una zona de riesgo para evitar que en la implementación física existan colisiones. Este Campo de Potencial se define numéricamente con valores grandes para evitar que a la hora de evaluar el gradiente la trayectoria incluya al obstáculo.

En la Tabla 1 se muestra una posible forma de definirlo.

49	49	49	49	49
49	50	50	50	49
49	50	200	50	49
49	50	50	50	49
49	49	49	49	49

Tabla 1. Campo de Potencial alrededor de un obstáculo.

3.3.4 Creación del Potencial en los orillos de la pista

Esta es una forma de asegurarse que el móvil jamás se salga del área de trabajo y corresponde más a un método de seguridad que a un paso obligado de la pista.

Los bordes del área de trabajo están representados por un potencial grande, en este caso su valor corresponde con el número 50 y al igual que para un obstáculo, se genera una zona de riesgo para evitar que el móvil se acerque y pueda salirse del área de trabajo.

Luego de generar computacionalmente estos valores y precauciones se procede a evaluar para cada movimiento. Se inicia desde el punto de origen y se evalúa los alrededores de cada punto para encontrar cual de ellos posee un valor mayor y poder mover el móvil a ese punto.

4 Resultados del Algoritmo

Para mostrar lo que se puede hacer con este algoritmo se muestra a continuación un ejemplo:

Parámetros iniciales:

Posición inicial: $(x, y) = (5, 5)$.

Posición Final: $(x, y) = (15, 15)$

Número de obstáculos = 1

Posición del obstáculo: $(x, y) = (9, 9)$

Al introducir estos datos en el algoritmo se logra obtener la representación que se muestra en la Figura 7, la trayectoria obtenida esta representada por el número 100.

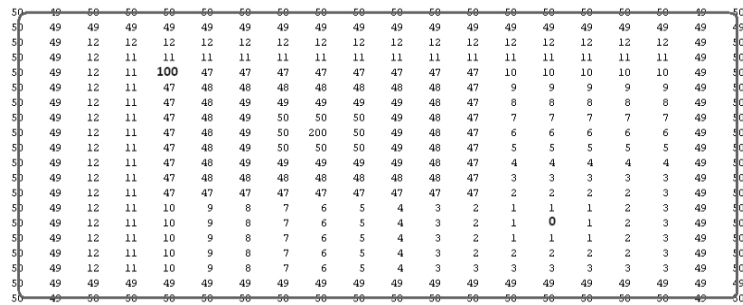


Figura 7. Campos de potencial del terreno

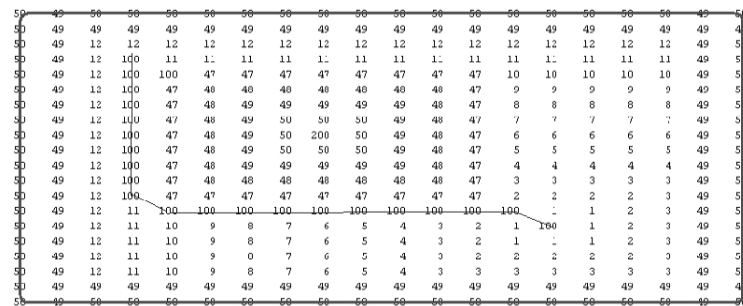


Figura 8. Trayectoria generada

5 Conclusiones

Tal como se pudo apreciar es posible recrear el método de campos de potencial usando dos métodos diferentes.

Las metodologías desarrolladas permiten implementar un campo de potencial adaptable a las dimensiones de cualquier área de trabajo. La programación de esta consiste en el manejo básico de matrices y arreglos.

Los algoritmos pueden trabajar con cualquier número de obstáculos y en cualquier dirección. El número de obstáculos depende del tamaño del terreno, ya que un número elevado de obstáculos no daría espacio para realizar un buen planeamiento.

El segundo algoritmo se puede realizar de la misma manera con un potencial numérico ascendente como uno descendente.

Las entradas al algoritmo son independientes de los sensores usados en el carro. Lo recomendable es poseer un conocimiento global del entorno.

Existen aplicaciones donde se han usado con éxito creando un área de trabajo local usando sensores montados sobre el vehículo.

En el segundo método no se requiere el cálculo de funciones para simular los potenciales dentro del área de trabajo, lo que facilita su implementación.

Ambos métodos se pueden implementar de manera on-line como off-line todo depende de si se actualiza o no los valores dentro de la matriz.

El área de trabajo se puede discretizar dependiendo de los tamaños de los móviles y obstáculos.

A menor tamaño en el área de las celdas seleccionadas es necesario definir dentro del algoritmo cuantas celdas se están ocupando para evitar que la trayectoria generada cruce sobre algún obstáculo.

En comparación con algoritmos robustos consultados y que se encuentran disponibles en la literatura como los realizados con técnicas de inteligencia artificial, presenta menos consumo de recursos computacionales.

Los algoritmos presentados dependen de la estructura de programación.

Referencias

- [1] Moravec H. y A. Elfes. High resolution maps from a Wide-angle sonar". Proc. IEEE Conference on Robotics and Automation.1985.

- [2] Samet H., M. Taminem. Bintrees, CGS trees, and time. *Computer graphics*. 1985. Vol 19, núm 3, pp. 121-130.
- [3] Shaffer C.A. y G.M. Herb, 1992. A real time robot arm collision avoidance system. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*. Vol 8, num. 2, pp. 149-160.
- [4] Hayward V. Fast Collision detection scheme by recursive decomposition of a manipulator workspace. *Proc. IEEE Intl. Conference on Robotics and Automation, San Francisco, Ca.(USA)*. , Vol 2, pp. 1056-1063. 1986
- [5] Fujimura K. y H. Sammet. Path planning among moving obstacles using spatial indexing. *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Philadelphia, Pa. (USA), 1988* , pp.1662-1667.
- [6] Hopcroft J.E., J. Schwartz y M. Sharir. Efficient detection of intersections among spheres. *Intl. J. Robotics Research*. 1983. Vol2, No. 4, pp. 77-80.
- [7] Lozano-Perez T. y M.A. Wesley. 1979. An algorithm for planning collision free path among polyhedral obstacles. 1979. *Communications on ACM*. Vol 22, pp. 560-570.
- [8] Lozano-Perez T. Spatial planning: A configuration space approach. *IEEE Trans. on Computers*. 1980. Vol C-32, pp. 108-120.
- [9] Lozano-Perez T. Automatic planning of manipulator transfer movements. *IEEE Trans. Syst., Man, Cyber*. 1981, Vol. SMC-11, pp. 681-689.
- [10] Cameron S., A study of the clash detection problem in robotics. *Proc. IEEE International Conference on Robotics and automation. St. Luis, 1985*, pp. 488-493.
- [11] Ollero A., J. Gómez de Gabriel. Detección de colisiones en un sistema telerobotico. 1993. Tercer congreso de la AER, Zaragoza, pp. 259-264.
- [12] Gómez de Gabriel, J.M., Contribuciones a la teleoperación de robots con retardos de comunicación. Tesis doctoral. Universidad de Málaga.2000.

- [13] Kathib O., Real time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots. IEEE Journal on Robotics and Automation. 1986. ;Vol 2, pp. 90-98.
- [14] Kathib O., A unified approach for motion and force control of robot manipulators: the operational space formulation. IEEE Robotics and Automation. 1987. Vol 3, pp. 45-53.
- [15] Krogh B.H., A generalized potential field approach to obstacle avoidance control. 1984. Intl. J.Robotic Research. Bethlehem, Pa.
- [16] Krogh B.H., C. Thorpe. Integrated path planning and dynamic steering control for autonomous vehicles. Proc. IEEE Conference Robotics and Automation. 1986. San Francisco, pp. 1664-1669.
- [17] Tibaduiza D., Martinez R., Amaya Y., Ruiz John. Localización Dinámica de Móviles y Obstáculos Para Aplicaciones en Robótica. Colombian Journal of Computation. Vol 8 No.1.
- [18] Diaz, V.S.; Rodriguez, A.C.; Balcells. Using virtual potential fields for electric wheelchair guidance, C.A.; de lRio, D.F. IECON 02 [Industrial Electronics Society, IEEE 2002 28th Annual Conference Volume 3, Issue , 5-8 Nov. 2002 Page(s): 2566 - 2571 vol.3
- [19] Barisic, M. Vukic Z. Miskovic, N. Kinematic simulative analysis of virtual potential field method for UAV trajectory planning. Control and Automation. 2007. pp. 1-6.
- [20] Ding Fu guang; Jiao Peng; et al. Auv local path planning based on virtual potential field. In IEEE International Conference on Mechatronics and Automation 2005, Niagara Falls, Canada, 2005.
- [21] Y. Kuroda and K. Iagnemma. Potential field navigation of high speed unmanned ground vehicles on uneven terrain. In Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2005. (ICRA 2005), April 2005.
- [22] J. Guldner and V.I.Utkin. Sliding mode control for gradient tracking and robot navigation using artificial potential fields. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 11:247-254, 1995.
- [23] Diego Alexander Tibaduiza Burgos, Roberto Martinez Angel, Jaime Barrero Perez. Planificación de trayectorias para robots

- móviles. I Simposio Regional de Electrónica y Aplicaciones Industriales, Ibagué Colombia. Nov. 3 al 5 de 2005.
- [24] Diego Alexander Tibaduiza Burgos, Maribel Anya Vejar. Campos de Potencial aplicados al planeamiento de caminos en robots móviles. Revista de Ingeniería, Vol 1 No.3 enero de 2007. Universidad Tecnológica de Bolívar. ISSN: 1794-7936
- [25] Ollero Baturone Anibal. Robótica, Manipuladores y Robots Móviles. Alfaomega, Marcombo, 2001.
- [26] Tibaduiza Burgos Diego Alexander, Martínez Ángel Roberto, Barrero Jaime. Planeamiento de Trayectorias de Robots Móviles. Trabajo de investigación de Maestría. Universidad Industrial de Santander. 2005
- [27] Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh, Introduction to Autonomous Mobile Robots, MIT Press, 2004.
- [28] Gregory Dudek, Michael Jenkin, Computational Principles of Mobile Robotics, Cambridge University Press, 2000.
- [29] Paul A. Vallejos, Javier Ruiz-del-solar, Alan Duvost. Cooperative Strategy using Dynamic Role Assignment and Potential Fields Path Planning.. Proceedings of the 1st IEEE Latin American Robotics Symposium – LARS 2004, Mexico City. Mexico. October 28-29-2004.
- [30] Victor j. Gonzalez. Robert Parkin. Marcelo Lopez parra. Jesus M. Dorado. M. Jaqueline Guadarrama Liho. A wheeled mobile robot with obstacle avoidance capability. Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo, Sociedad Mexicana de ingeniería mecánica. Septiembre, año 2004/vol. 1, número 00.
- [31] Paul Smith, Part IB Computing Course Tutorial Guide to MATLAB, Department of Engineering University of Cambridge. Septiembre 2001.
- [32] <http://www.mathworks.com>. Sitio web de Matlab.
- [33] Ali Eydgahi, Dilshan Godaliyadda, Similola Falase. “A Simulation Software for Autonomous Navigation of Unmanned Surface Vehicles Using MATLAB Environment.” Journal of Modern Engineering, Volume 7, Number 2, spring 2007.

