

SENSORES, METODOS Y TÉCNICAS PARA LA NAVEGACIÓN DE ROBOTS MOVILES AUTONOMOS

Orozco Duque, Andrés Felipe
Control Digital - Grupo de Investigación en Automática - GRIAL
Universidad Pontificia Bolivariana
Medellín, Colombia
Cir.1 #70-01 B.11
e-mail: anfel27@yahoo.com

Resumen:

En este artículo se describen los diferentes tipos de sensores usados para la navegación de robots autónomos, además se explican algunos métodos y técnicas para la utilización de estos sensores en la detección y mapeo de ambientes y en problemas de navegación autónoma como el posicionamiento relativo y el posicionamiento absoluto.

Abstract:

Different kinds of sensors that they are used for the navigating mobile robots are presenting this paper, also it is teach some methods and technical for the use of these sensors in the detection and knowledge of words and in problems of navigating autonomous as the positioning relative and positioning absolute.

Palabras clave: Navegación de Robots Móviles. Sensores.

Keywords: Navigating Mobile Robots. Sensors.

1. INTRODUCCIÓN.

La navegación de robots móviles autónomos es una área muy apasionante. Lograr que un vehículo pueda desempeñarse por sí solo en el mundo, que pueda conocer el mundo y a partir de eso definir por sí solo sus movimientos, con un comportamiento lo más parecido posible a los seres vivos, es un sueño que poco a poco se va haciendo realidad. Hoy por hoy los nuevos métodos de inteligencia artificial, algoritmos genéticos, redes neuronales, lógica difusa, etc. Han dado un gran aporte para el logro de este sueño.

Entre los problemas que se presentan en la navegación autónoma está el reconocimiento del ambiente o del mundo en el que se va a desempeñar el robot, la detección de obstáculos tanto en mundos estáticos como dinámicos y la determinación de la posición del robot tanto relativa o absoluta. Para resolver estos problemas el robot debe estar

equipado con una serie de sensores, por medio de ellos el robot obtiene información del mundo externo e información interna. Entre los sensores más usados tenemos: Sensores Ópticos (Fotorresistencias, Infrarrojos), Ultrasonido, Visión Artificial, Encoders, Sensores Magnéticos, Acelerómetros y Giroscopos. con los simuladores. A partir de la información obtenida de estos sensores se definen los métodos y los algoritmos para la navegación.

2. SENSORES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DEL AMBIENTE

Los seres vivos cuentan con una serie de sentidos que le sirven para obtener información del ambiente y sus sistemas de navegación utiliza la información obtenida de estos sentidos para poder conocer el mundo. Un robot autónomo debe contar también con una serie de “sentidos” que le permitan

conocer el “mundo”, para ello se deben equipar con una serie de sensores: Ópticos, Ultrasonido, Visión cuya información será utilizada por el sistema de control y por el algoritmo de navegación para definir la ruta a seguir.

2.1 Sensores Ópticos

Los sensores ópticos mas usados son las Fotorresistencias, el fotodiodo y los fototransistores, en este artículo nos centraremos en los fotodiodos y los fototransistores usados como sensores de infrarrojo ya que estos tienen un mayor uso en los sistemas de navegación. Los sensores de Infrarrojos pueden ser usados como sensores On-Off, es decir solo nos puede dar información sobre la existencia o no de un obstáculo, si se desea tener información sobre la distancia se debe recurrir a métodos de triangulación lo cual se hace muy complejo y poco preciso, debido a esto no son muy utilizados para este propósito. Su aplicación principal esta en la detección de obstáculos para evitar colisiones. Para esta aplicación es muy usado un par emisor (diodo)-receptor (fototransistor) de reflexión, el sensor se calibra para una detectar obstáculos a una distancia determinada por medio de una resistencia variable que regula la corriente aplicada al emisor. Este tipo de sensores tienen el problema de que pueden recibir interferencia del ambiente. Para evitar esto se debe recurrir a técnicas de modulación donde se transmite un tren de pulsos de determinada frecuencia (usualmente 40Khz), de tal manera que el receptor debe sentir pulsos con una la misma frecuencia del emisor (por medio de un filtro o de un decodificador de tonos) con lo cual se discrimina entre el ruido y la interferencia del ambiente y la reflexión causada por un obstáculo real.

2.2 Sensores De Ultrasonido

Los sensores de ultrasonido son muy usados para la detección de obstáculos, con la ventaja de que pueden dar una información de la distancia a la cual se encuentra el

obstáculo, para ello utilizan las propiedades de las ondas de sonido y a partir de la información de la velocidad del sonido y de el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción se obtiene información de la distancia. Por lo general se usa un transductor como emisor y otro como receptor, aunque también se puede usar un solo transductor como emisor y como receptor, en este caso, tras la emisión del ultrasonido se espera un determinado tiempo a que las vibraciones en el sensor desaparezcan y esté preparado para recibir el eco producido por el obstáculo. Cuando se va a trabajar con transductores de ultrasonido [1] se debe tener en cuenta los siguientes parámetros (ver figura 1):

Angulo del cono: El campo de actuación del pulso que se emite desde un transductor de ultrasonido tiene forma cónica. El eco que se recibe como respuesta a la reflexión del sonido indica la presencia del objeto más cercano que se encuentra dentro del cono acústico y no especifica en ningún momento la localización angular del mismo

Zona muerta: Cuando se usa el mismo transductor como emisor y receptor, existe una distancia mínima (d_m) determinada por el tiempo de relajación del transductor desde el momento en que deja de emitir hasta que esta listo para recibir, todos los objetos que estén a una distancia menor a d_m no pueden ser detectados. Cuando se usa un transductor como emisor y otro como receptor hay una distancia d_m determinada por el ángulo y la posición relativa entre los dos transductores. El área determinada por d_m es conocida como zona muerta.

Distancia máxima: La distancia máxima de detección esta determinada por la potencia a la que se emite y la frecuencia de trabajo, a mayor frecuencia se puede cubrir mayor distancia. La frecuencia de trabajo mas usada es 40Khz, aunque existen en el mercado transductores hasta de 250Khz.

Para la recepción del eco de ultrasonido se usan por lo general dos métodos [2], el

método de detección por umbral y el método de detección de tono.

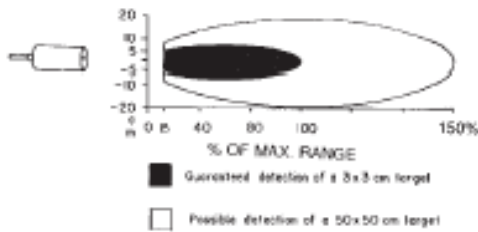


Figura 1: Parámetros de un transductor de US

Detección por umbral: En este método, en el circuito de recepción se amplifica y filtra la señal del receptor y un circuito detector de nivel basado en un comparador de tensión. El principal problema de este método es que es muy sensible al ruido lo que puede generar detecciones erróneas.

Detección por tonos: Se puede eliminar el problema del método anterior, basándonos en que tanto la señal de ultrasonido transmitida como la recibida poseen una frecuencia fija, determinada por las características propias de los transductores ultrasónicos, también resulta posible discriminar el eco del ruido en base a su frecuencia, lo que lo independiza también de la atenuación. Para ello se utiliza un detector de tonos en el circuito receptor.

Una gran ventaja de los sensores de ultrasonido, es que al dar información de la distancia a la que se encuentra un obstáculo, podemos hacer un mapa del entorno en que se encuentra el robot, para ello se utiliza un arreglo de sensores de ultrasonido alrededor del robot, ubicados de tal forma que cada uno cubre un sector angular alrededor del robot. Sin embargo al hacer esto nos enfrentamos a varios problemas (figura 2), enumerare algunos a continuación [3]:

Pobre directividad: Ya que el campo de actuación de la onda emitida por el transductor tiene forma cónica existe, la probabilidad de que el eco se haya producido por un objeto presente en la periferia del eje

central, aunque la máxima probabilidad es que el objeto detectado esté sobre el eje central del cono acústico, esto limita la exactitud de la detección.

Ecos falsos: Puede darse debido a que la onda emitida por el transductor se refleje varias veces en diversas superficies antes de que vuelva a incidir en el transductor (si es que incide). Esto implica que la lectura del sensor nos indicara la presencia de un obstáculo a una distancia mucho mayor que a la que está en realidad el obstáculo que produjo la reflexión de la onda. Otra fuente común de *falsos ecos*, conocida como *crosstalk*, se produce cuando se emplea un cinturón de ultrasonidos donde una serie de sensores están trabajando al mismo tiempo. En este caso puede ocurrir que un sensor emita un pulso y sea recibido por otro sensor que estuviese esperando el eco del pulso que él había enviado con anterioridad (o viceversa). Para solucionar este último problema se puede hacer una multiplexación de los sensores para que no trabajen todos al tiempo, otra técnica usada es tener un solo sensor que por medio de un mecanismo gire alrededor de un eje en el centro del robot y de esta manera cubre toda la periferia del robot. Sin embargo estos dos métodos hacen mucha más lenta la detección del entorno.

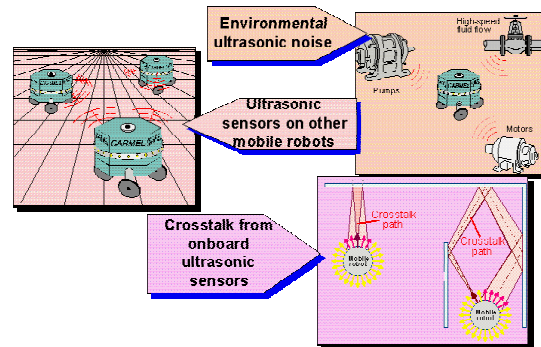


Figura 2: Problemas de US

Medidas Falsas: Pueden ser provocadas por ruidos ultrasónicos de fuentes externas, esto se hace muy evidente cuando se tienen varios robots trabajando con ultrasonido en un mismo lugar.

Reflexiones Especulares: Una onda de ultrasonido tiene el mismo ángulo de incidencia y reflexión respecto a la normal a la superficie (ley de reflexión). Esto implica que si la orientación relativa de la superficie reflectora con respecto al eje del sensor de ultrasonido es mayor que un cierto umbral, el sensor nunca reciba el pulso de sonido que emitió.

Existen diversos métodos para resolver estos problemas, muchos de ellos se resuelven mediante la generación de un mapa del entorno y a partir de unas medidas probabilísticas, estos métodos se describirán mas adelante.

2.3 Sensores De Imágenes

Los métodos de visión artificial son muy útiles a la hora de desarrollar mapas del entorno en el cual se encuentra el robot, existen desde procesos muy sencillos donde a partir de la información suministrada por varias fotorresistencias a un DSP (Procesador Digital de Señales) se hacen reconocimiento de patrones y contornos, hasta métodos mas complejos donde se captan imágenes en tiempo real desde una cámara.

La visión es el sentido mas usado por la mayoría de los animales para captar información del mundo exterior, por ello al desarrollar sistemas de visión artificial se esta logrando un gran paso en la evolución de la robótica. Hoy en día se consiguen en el mercado sensores de imágenes (“cámaras”) empaquetados en un circuito integrado llamado CCD (figura 3), la salida de estos sensores es análoga pero se pueden conectar a un conversor análogo-digital para poder tratar la imagen con un DSP.



Figura 3: Cámara con CCD.

Una imagen nos proporciona información en dos dimensiones, sin envargo usando técnicas de estereoscopia (usando dos camaras) como lo hacen algunos animales incluyendo el hombre se puede obtener alguna información de profundidad, sin embargo esto es muy complicado y se prefiere usar sensores de ultrasonido si se quiere una medida de la profundidad.

3. SENSORES PARA POSICIONAMIENTO RELATIVO Y ABSOLUTO

Otro problema al que nos enfrentamos al desarrollar algoritmos para la navegación de robots autónomos es el de determinar la posición del robot en cada instante. Se puede determinar ya sea la posición relativa del robot con respecto aun punto de referencia (que por lo general es el punto de partida), o la posición absoluta del móvil. Para ello se debe equipar el robot con una serie de sensores, entre los mas usados tenemos: encoder, brújula electrónica, acelerómetro, giróscopo y GPS.

3.1 Encoders

Cuando se usan motores a paso para el desplazamiento de un robot, se puede contar fácilmente las vueltas a partir de los pasos que da cada llanta y con ello se puede determinar la distancia recorrida por el robot, sin embargo muchos robots utilizan motores de CD ya que estos tienen menos consumo de potencia. Para medir la distancia recorrida por cada llanta cuando se usan motores de CD se utilizan los encoders, este método utiliza dos sensores de infrarrojo, con un desfase de 90° con respecto a un código binario (compuesto por franjas, negras y blancas) ubicado ya sea en las llantas o en el motor (figura 4), y mediante el cual se puede determinar tanto el desplazamiento como la dirección de la llanta [4].

Por medio de los encoders se puede hacer que el cada rueda avance una serie de pasos y no un tiempo determinado, con lo cual se puede

controlar el desplazamiento y llevar un registro de la ruta seguida por el robot a partir



Figura 4: Código en la rueda para encoders

de un punto de partida, para controlar los ángulos en los giros se puede hacer un control a partir de las vueltas que da cada llanta (para

un giro diferencial, donde cada llanta gira en una dirección opuesta), sin embargo esto puede traer muchos errores debido a deslizamientos, para mejorar esto se puede recurrir al uso de otros sensores que se describirán a continuación. Además de esto por medio de encoders se puede hacer un control de la velocidad del robot, detectar posibles situaciones en las que el robot quede detenido ante un obstáculo y hacer un control de desplazamiento (figura 5). Para este ultimo se parte del hecho que si el robot sigue una línea recta, el conteo del desplazamiento en una de las ruedas laterales, debe ser igual la rueda opuesta que esta en el mismo eje, a partir de esto se hace una comparación de las dos medidas y el resultado es el error, el cual es utilizado por el control (P, PI o PID) para corregir la ruta.

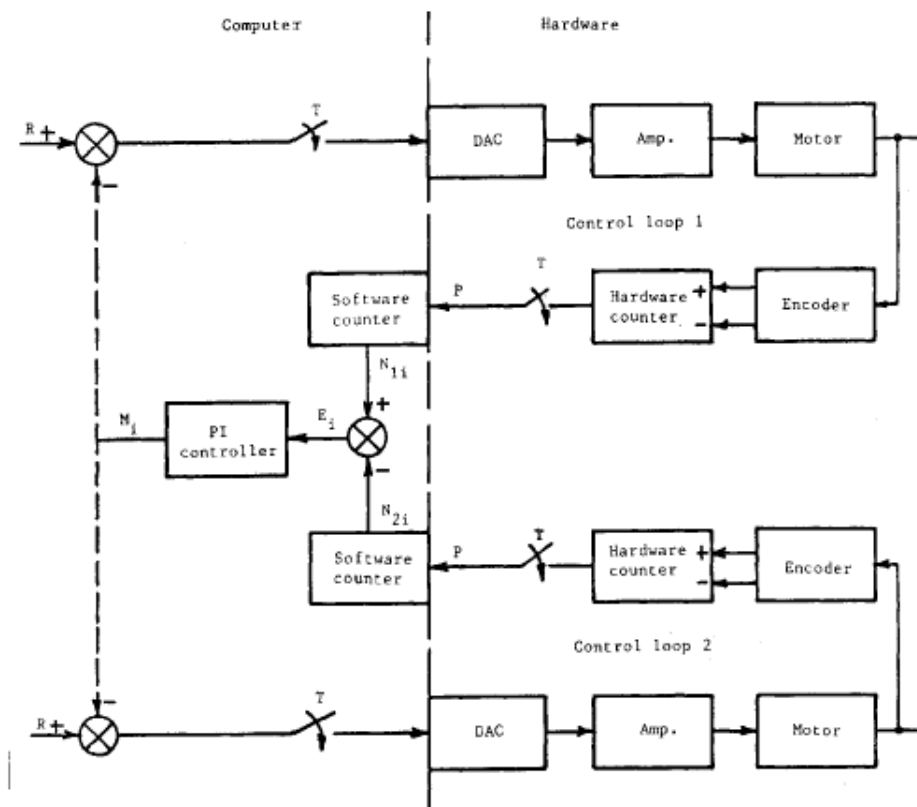


Figura 5: Control de dirección con encoders

3.2 Sensores Magnéticos

Hemos visto que al utilizar encoders para determinar la posición relativa del robot, existen problemas al tratar de determinar el ángulo de giro. Para mejorar este problema se puede dotar el robot de una brújula electrónica con lo cual podemos controlar la

dirección del robot (y ya empezamos a entrar en el área del posicionamiento absoluto), y controlar el ángulo de los giros de una manera relativamente fácil. Existen Brújulas electrónicas a partir de bobinas, pero las más usadas y más prácticas son las que utilizan el fenómeno de magnetorresistencia (figura 6).

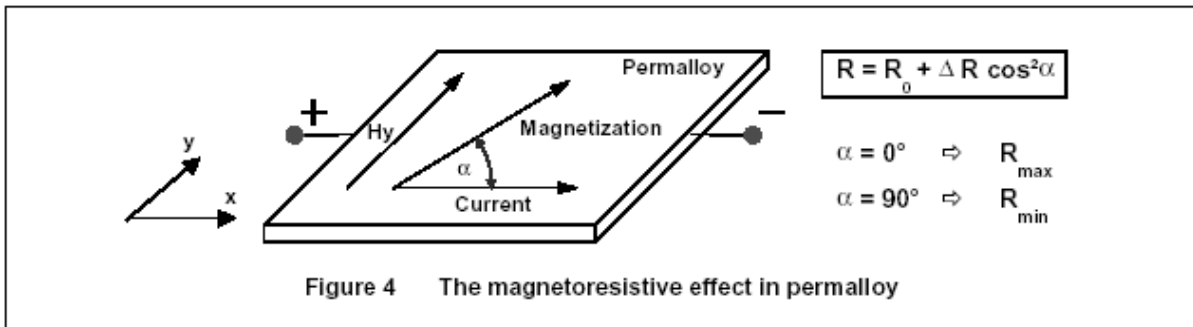


Figura 6: Magnetorresistencia

La magnetorresistencia se basa en la propiedad que tienen algunos materiales de cambiar su resistencia según la dirección de la polarización del material debido a un campo magnético externo con respecto a la

dirección de la corriente [5]. En el mercado se encuentra el Chip KMZ52 de philips semiconductor, este chip trae dos sensores basados en el fenómeno de la magnetorresistencia (figura 7).

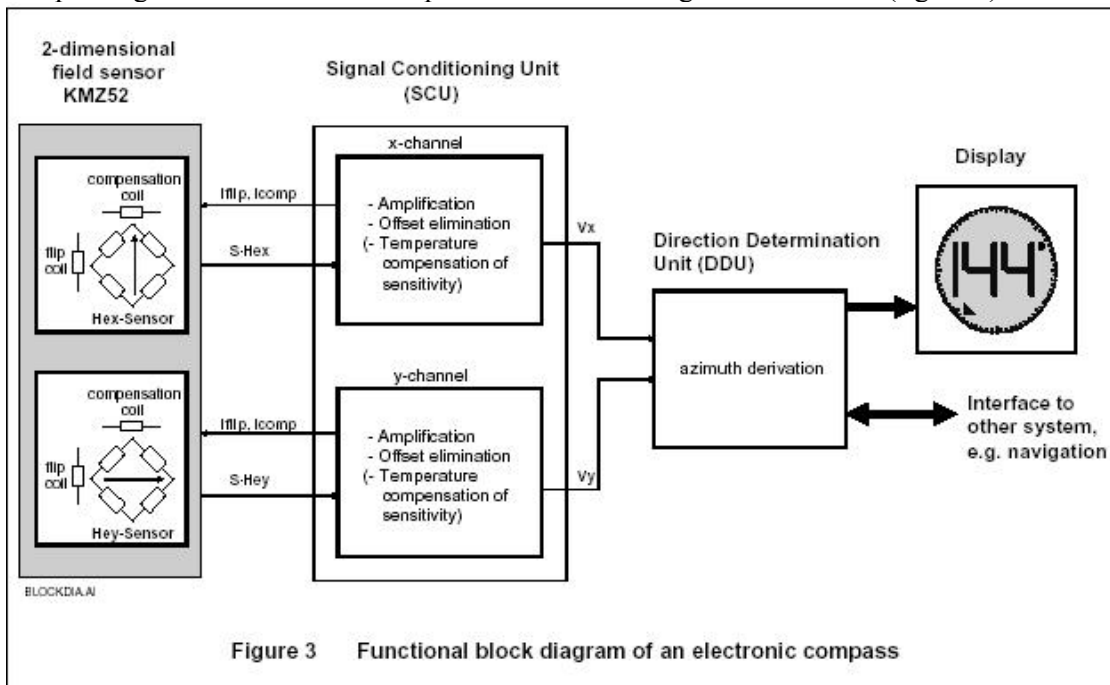


Figura 7: Brújula magnética con sensores de magnetorresistencia

Los dos sensores se polarizan con un desfase de 90° de tal manera que cuando actúan ante el campo magnético de la tierra, un sensor me da como salida la información de la componente en el eje y y el otro la componente en x . Estos sensores dan como salida un voltaje diferencial, para hacer los cálculos se deben digitalizar y luego mediante un procesador se encuentra el ángulo al que se encuentra el polo norte magnético con respecto a la dirección del robot (esto se hace mediante un calculo sencillo, hallando el arcotangente entre las dos señales entregadas por los sensores). Por software se puede hacer una corrección de la dirección con respecto al polo norte real.

3.3 Acelerómetro

Los acelerómetros son dispositivos usados para medir aceleración y vibración. El dispositivo consiste de una masa conocida pegada a un elemento piezoeléctrico (figura 8). A medida que el acelerómetro se mueve, la masa aplica fuerza al cristal generando una carga. Al leer esta carga se puede determinar la aceleración.

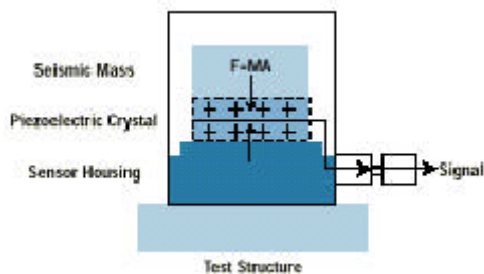


Figura 8: Acelerómetro

3.4 GIROSCOPOS

Se llama giroscopio a cualquier cuerpo en rotación que presenta dos propiedades fundamentales: la inercia giroscópica o 'rigidez en el espacio' y la precesión, que es la inclinación del eje en ángulo recto ante cualquier fuerza que tienda a cambiar el plano de rotación. La rigidez en el espacio de un giroscopio es consecuencia de la primera ley del movimiento de Newton, que afirma que

un cuerpo tiende a continuar en su estado de reposo o movimiento uniforme si no está sometido a fuerzas externas. Así, el volante de un giroscopio, una vez que empieza a girar, tiende a seguir rotando en el mismo plano en torno al mismo eje espacial. La precesión consiste en que cuando una fuerza aplicada a un giroscopio tiende a cambiar la dirección del eje de rotación, el eje se desplaza en una dirección que forma un ángulo recto con la dirección de aplicación de la fuerza. Gracias a estas características se puede utilizar el giroscopio para controlar la dirección de un móvil o para controlar la inclinación de un objeto con respecto a un eje determinado. Los giroscopios constituyen una parte importante de los sistemas de navegación automática o guiado inercial en aviones, naves espaciales, misiles teledirigidos, cohetes, barcos y submarinos.

En la actualidad los giroscopios tradicionales han sido reemplazados por giroscopios de fibra óptica que utilizando propiedades ópticas pueden reemplazar a los giroscopios mecánicos con la ventaja de que se pueden acoplar perfectamente a los sistemas de control electrónicos y digitales.

3.5 GPS

GPS o sistema de posicionamiento global es un sistema de navegación satelital. Consta de 24 satélites que proporcionan posiciones precisas en tres dimensiones, velocidad y tiempo, las 24 horas del día, en cualquier parte del mundo y en todas las condiciones climáticas. El móvil debe tener un receptor de radio para hacer el enlace con los satélites, El receptor utiliza cuatro satélites para calcular la latitud, la longitud, la altitud y la información horaria. El GPS es el mejor sistema para hacer un posicionamiento absoluto pero es muy costoso para aplicaciones básicas de navegación hacia las cuales está enfocado este trabajo, por lo tanto no profundizaremos mucho en este tema.

4. METODOS DE NAVEGACIÓN DE ROBOTS MOVILES CON PROCESAMIENTO DE DATOS EN TIEMPO REAL.

Ya hemos hablado de los sensores utilizados para la resolver los dos problemas fundamentales de la navegación autónoma, el posicionamiento y la detección y sobrepaso de obstáculos. Hemos visto además que para la detección de obtaculos con ultrasonido, que es el sensor mas utilizado se presentan varios problemas. Para resolver estos problemas existen varios métodos que consisten en la elaboración de mapas del entorno, estos métodos ya han sido probados en la Universidad de Michigan con robots reales [6].

4.5 Método Del Campo De Fuerza Virtual (VFF):

El VFF es el un método utilizado para evitar obstáculos en tiempo real para robots móviles rápidos. Este método es usado para compensar las medidas erróneas que se pueden cometer en sistemas de sensores de ultrasonido u otro tipo de sensores. En este método se usa una malla cartesiana, donde se hace una división del entorno en una cuadrícula constituida por celdas de pequeñas dimensiones (figura 10). En esta cuadrícula se va a ir reflejando la presencia de obstáculos en el entorno. Inicialmente se define un cuadro alrededor del centro del vehículo llamado región activa, y cada celda dentro de este cuadro se llama celda activa, cada celda activa $C(i,j)$ tendrá un cierto valor de certidumbre CV , que representa la confianza que se tendrá en la existencia de un obstáculo en esa localización. El CV es una función de probabilidad que tiene en cuenta las características de los sensores . En los sensores de ultrasonido, como ya se vio no se puede estar seguro del ángulo exacto al que se encuentra el objeto, debido a la forma cónica del haz, en este método parte del hecho que la mayor probabilidad es que es objeto este en el eje del haz del angulo, por ello se usa una función probabilística donde

se incrementa mas el CV de las celdas mas próximas al eje acústico. Con este método el robot hace un barrido panorámico con sus sensores. Después se aplica una función probabilística a cada una de las lecturas, actualizando la cuadrícula, este proceso se va repitiendo a medida que el robot se mueve. Una vez se ha recorrido el lugar de trabajo, la cuadrilla de de certidumbre resultante representa el mapa del entorno. Para ello se debe conocer en cada momento la posición del robot con respecto a un punto de inicio, para ello se utilizan los sensores y métodos descritos anteriormente. Para definir la ruta a seguir para llegar a una meta se utiliza el concepto de campo de fuerza virtual, cada celda activa ejerce una fuerza virtual repulsiva, $F_{i,j}$ hacia el robot, la magnitud de esta fuerza es proporcional al valor de certidumbre $CV_{i,j}$ e inversamente proporcional a la distancia medida.

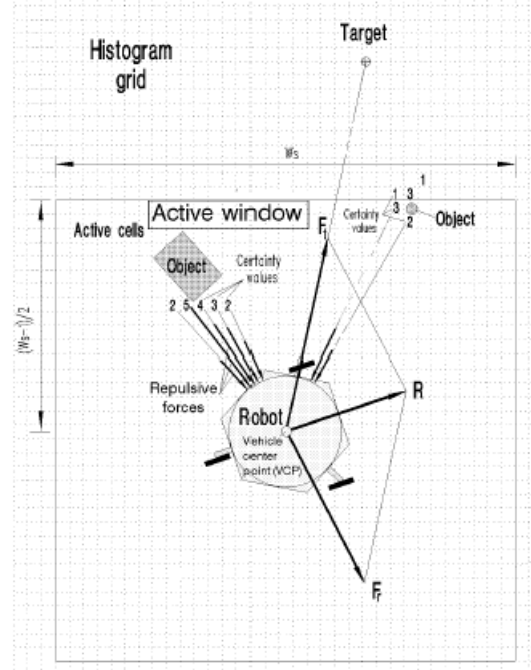


Figura 10: VFF

La medida de cada sensor ejerce una fuerza repulsiva sobre el robot y la suma de todas estas fuerzas produce una fuerza repulsiva virtual F_r . Además de esto, se tiene una fuerza de atracción F_t que atrae el robot hacia el objetivo (la meta). La resultante de la suma de F_t y F_r produce un vector de fuerza

resultante R que define la dirección del robot en ese instante.

4.2 Método Del Histograma De Vector De Campo (VFH):

Este método es similar al anterior pero los datos se procesan de tal manera que se genera un histograma polar de una dimensión H alrededor de la localización del robot (figura 11). Este histograma contiene n sectores angulares alrededor del robot. A cada sector angular se le asigna un valor H_k que representa la densidad polar de obstáculos en esa dirección. Para determinar la dirección que debe seguir el robot en determinado instante se localizan los valles, es decir las zonas donde el valor de H_k están por debajo de cierto valor de umbral.

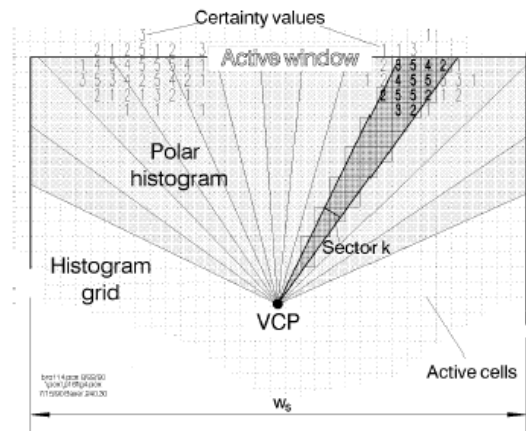


Figura 11: VFH

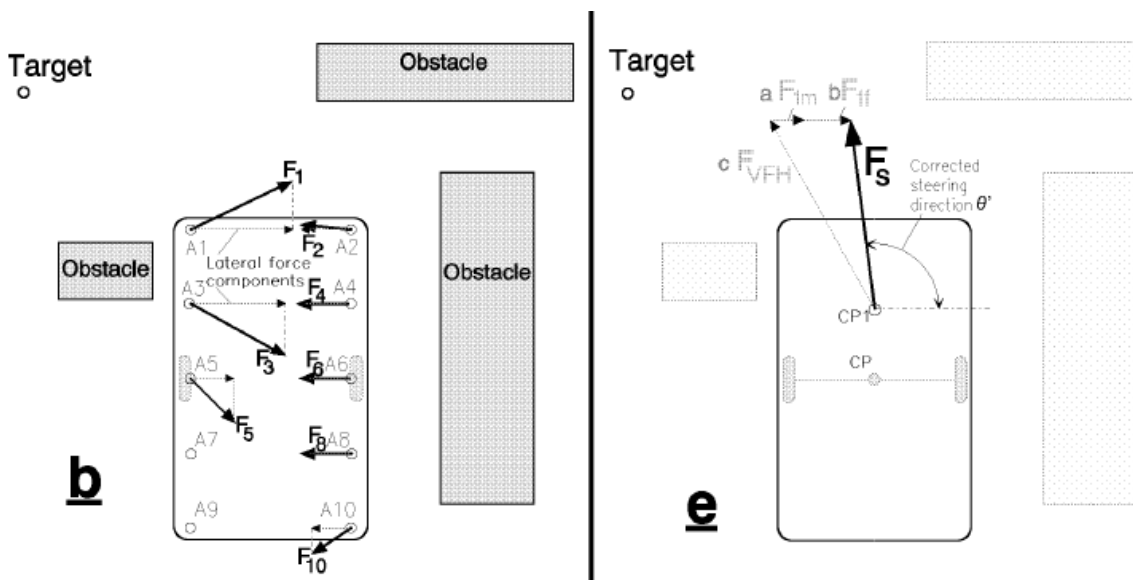


Figura 12: Vector de fuerzas resultante.

4. CONCLUSIONES

Hemos visto ya, los sensores y los métodos mas usados para la navegación de robots móviles, hemos visto además que muchos de estos sensores presentan algunos problemas y requieren de algoritmos muy complejos para una navegación optima, sin embargo cada día se van haciendo adelantos que mejoran tanto la calidad de los transductores y de los

sensores así como los algoritmos de control. Todo esto nos lleva a una gran evolución de la robótica de tal manera que cada vez nos encontramos con robots mas sofisticados y que pueden realizar acciones antes impensadas, ya tenemos robots exploradores para misiones espaciales, pilotos automáticos para aviones, barcos, misiles, etc. Tenemos robots que pueden cumplir misiones humanitarias como rescate de cuerpos, detección de minas, etc. Todo esto gracias al

desarrollo de los sensores y de los algoritmos de navegación.

Algo muy importante que debemos tener en cuenta es que en nuestro medio se pueden desarrollar muy buenos prototipos de robots móviles. Muchos de estos sensores se pueden conseguir fácilmente en el mercado, y si se desean sensores muy sofisticado o de muy buena calidad, Internet es una buena herramienta para conseguirlos, claro que pueden salir un poco costoso. Sin embargo podemos construir muy buenos prototipos con los elementos que tenemos a nuestro alcance solo se necesitan buenas ideas y muchas ganas de trabajar.

REFERENCIAS

[1] *Proximity Sensors. Applying Ultrasonic Proximity Sensors*. En: <http://sumar.utic.com.ar>

[2] FERDEGHINI, Fernando, BRENGI Diego y LUPI Daniel. *Sistema De Detección Combinado Para Sensores Ultrasónicos*. En: <http://sumar.utic.com.ar/>

[3] UREÑA, Jesús, MAZO, Manuel y RODRÍGUEZ, Javier. *Captación de Entornos en Robot Móvil Mediante Ultrasonidos*. En REVISTA ESPAÑOLA DE ELECTRÓNICA. Mayo 1994. Pg. 64 – 68.

[4] DE LOPE ASIAIN, Javier. *Encoders: Construcción, Montaje y Programación*. Universidad Politécnica de Madrid. 2000. En <http://www.sia.eui.upm.es/~jdllope/>

[5] *Electronic Compass Design using KMZ51 and KMZ52*. En: http://www.semiconductors.philips.com/acrobat/datasheets/KMZ52_3.

[6] BORESNTEN, Johann, EVERETT, H. R. and FENG Liqiang. *"Where am I?" Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning*. The University of Michigan. 1995. CD-ROM. <http://www.engin.umich.edu/research/mrl/index.html>

AUTOR:

Andrés Felipe Orozco Duque. Estudiante de Décimo Semestre de Ingeniería Electrónica en la Universidad Pontificia Bolivariana. Miembro del GRIAL, Grupo de Investigación en Automática de la Universidad Pontificia Bolivariana.