

DESARROLLO DE MICROBOTS DESTINADOS A UNA PEQUEÑA APLICACIÓN LOGÍSTICA COMO PROYECTOS FINAL DE CARRERA.

ARTAL J.S., AZNAR D., CARABALLO J. y OTÍN J.I.

Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial.

María de Luna, 3. Edificio Torres Quevedo. 50018.

Campus Tecnológico Río Ebro. Universidad de Zaragoza

e-mail: jsartal@unizar.es

En este documento se muestra un pequeño ejemplo de la utilización de la microbótica para la realización de proyectos final de carrera aplicados a un entorno logístico reducido. La construcción de prototipos de microbots además de motivar a los estudiantes les permite poner en práctica todos los conocimientos que se han ido aglutinando a lo largo de la titulación. Debido a este fuerte carácter multidisciplinar que posee la robótica puede utilizarse como complemento educativo de los estudiantes y curiosos en general. Es por este motivo que la construcción de pequeños robots está siendo la práctica que más se ha extendido a nivel educacional, debido principalmente a razones puramente económicas. Así pues, la construcción y diseño de los prototipos de microbots por parte de los estudiantes pueden utilizarse como indicadores de los conocimientos, habilidades y destrezas adquiridas.

1. Introducción

Desde la antigüedad, el hombre siempre ha intentado desarrollar artefactos que imitasen seres animados o realizarasen tareas desempeñadas por ellos. Estos fueron muchas veces utilizados por las clases acomodadas, como simple divertimento para sus ratos de ocio. Sirvan como ejemplo de todos los que podemos encontrar a lo largo la historia, el León Mecánico construido por Leonardo Da Vinci (1452-1519) para el rey Luis XII de Francia, o uno mucho más reciente el robot¹ AIBO de SONY.



Figura 1. Robot mascota AIBO de SONY

Pero también, la humanidad ha hecho uso de diferentes máquinas con fines eminentemente prácticos. Por ejemplo, la cultura árabe desarrolló diferentes autómatas –del griego “automatos”, máquina que imita la figura y los movimientos de un ser animado [1], [2]- para dispensadores automáticos de agua e inventó el reloj mecánico, gracias a pensadores brillantes para su época como fue Al-Jazari [3]. Hoy en día, podríamos definir la robótica como una disciplina dedicada al estudio, diseño, realización y manejo de robots. Y robot industrial como “un manipulador reprogramable multifuncional, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o artefactos especiales, mediante

¹ El término “Robot” aparece por primera vez en 1921 en “Rosum Universal Robots” de Karel Capek derivado del polaco robota (trabajo realizado de manera forzada)

movimientos variables programados, para la ejecución de tareas potencialmente muy diversas” haciendo nuestra la definición de la RIA (Robot Industry Association).

La robótica industrial o de manipulación, surge como herramienta potente de una automatización flexible, con la idea de reducir costes en el proceso productivo. Esto unido al constante desarrollo de nuevos materiales más ligeros y resistentes, junto con nuevos componentes electrónicos y novedosos sistemas de control basados en Inteligencia Artificial (IA) [4], ha posibilitado el desarrollo de los robots y ha liberado a personas de trabajos repetitivos, monótonos o imposibles de realizar por sí mismas.

En un futuro próximo, es muy factible que tenga lugar una revolución como en su día se dio con los ordenadores personales y veamos robots domésticos al alcance de la población. Algunos empiezan a verse en los comercios, desarrollando tareas domésticas como cortar el césped, barrer el suelo de la casa e incluso el fondo de una piscina. Otras tareas como la vigilancia y monitorización, en todo momento, de personas dependientes o las operaciones de rescate y salvamento en catástrofes [5] se encuentran en desarrollo en diferentes campus universitarios y centros de investigación.

Debido a su fuerte carácter multidisciplinar, la robótica se ha utilizado como complemento educativo de estudiantes [6], [7], [8] y de curiosos en general. En particular, es la microbótica la que más se ha extendido a nivel educacional, debido principalmente a razones puramente económicas. Estos pequeños robots, permiten trabajar al diseñador en todas y cada una de las fases de las que consta la creación de prototipos reales. Así el diseño de pequeños robots móviles y su participación en competiciones internacionales se está utilizando en muchos países [9], [10], [11], además de para transmitir conocimientos, como medio para fomentar el aprendizaje y la motivación de los estudiantes [12], [13]. El control de los mismos suele recaer en una aplicación informática alojada en un PC o, como en el caso que nos ocupa, en pequeños microcontroladores ubicados en el interior de los prototipos diseñados.

2. Los Prototipos de Microbots.

Con el objetivo de realizar algunos proyectos final de carrera que fueran capaces de aglutinar de una forma práctica los diferentes conocimientos adquiridos en las materias de la titulación de Electrónica Industrial, se propuso el desarrollo por completo de varios prototipos de microbots rastreadores con diferente fisonomía. Como objetivo de partida se consideró que fuesen capaces de capturar datos externos, comunicarse y tomar decisiones dentro de una pequeña aplicación logística; dejando además a estos prototipos abiertos a la posibilidad de futuras evoluciones en sus módulos.

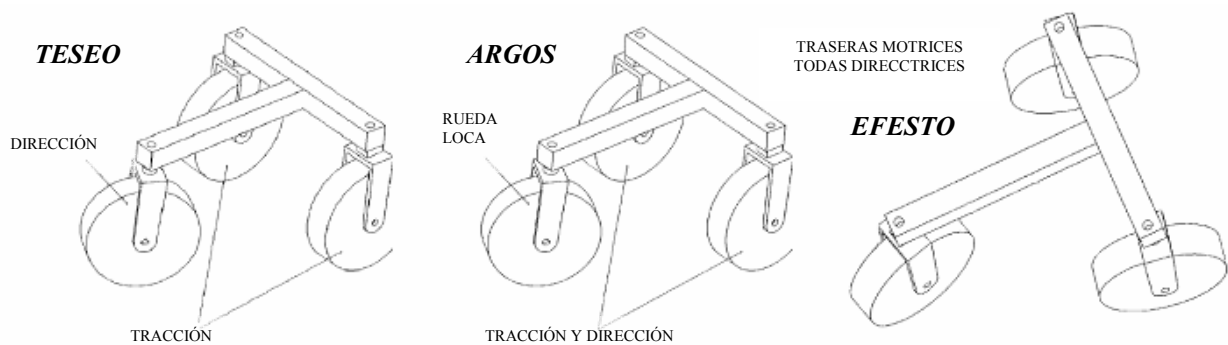


Figura 2. Fisonomías planteadas en los tres prototipos de microbots mencionados.

La filosofía de trabajo de la que se parte es una estructura triciclo con diferentes controles en la dirección y la tracción. En el primero, las ruedas traseras son motrices mientras que la delantera se convierte en directriz. En el segundo prototipo se deja la rueda delantera loca y se gobierna el microbot por completo mediante las dos ruedas posteriores. Por último, en el tercer modelo se

recupera la fisonomía de la primera estructura pero dotando además de capacidad de orientación a las ruedas motrices, de forma que reduzcan drásticamente el radio de giro. A estos tres prototipos se les ha bautizado como Teseo, Argos y Efesto respectivamente (ver figura 2).

Todos los prototipos se han desarrollado en unas primeras fases iniciales sobre madera de ocumen de 3mm de grosor fácilmente mecanizable por los estudiantes para posteriormente migrar a una estructura mecánica definitiva en metacrilato de 5mm de grosor. El tamaño de la base estructural de todos los microbots se estableció que fuese un A5 aproximadamente. Ciertos elementos de la fisonomía de los microbots cuyos requerimientos mecánicos son de precisión superior a la del alcance de los estudiantes se han encargado al Departamento de Mecanizado de Precisión de la Universidad de Zaragoza.

El primer proyecto en llevarse a término ha sido Teseo, los otros dos prototipos (Argos y Efesto) se encuentran en fase de finalización a fecha del envío del presente documento, conjuntamente se está desarrollando una aplicación que los gobierne dentro de la aplicación logística propuesta. Para el control de los prototipos, se ha seleccionado un sistema basado en la interacción de dos microcontroladores PIC16F876 que operan en paralelo; ya que dada la naturaleza de alguna de sus tareas, se hizo necesario dividir el trabajo entre dos microcontroladores (sistema de motricidad y navegación).

La programación del microprocesador se ha realizado completamente en ensamblador debido a que al tratarse de un microcontrolador desconocido por los alumnos hasta ese momento permitía comprender íntegramente su funcionamiento [14], [15]. Se seleccionó el microcontrolador PIC16F876 de entre los que ofrece Microchip, ya que los dispositivos internos que posee se adaptan a las necesidades de los microbots. Como valor añadido el PIC16F876 es un microcontrolador de reducido coste y de fácil adquisición en los comercios tradicionales. Algunas de las características más relevantes de este microcontrolador de 28 pines son las siguientes [16]: 22 líneas de E/S divididas en 3 puertos configurables, conversor A/D de 10bits en cinco líneas del puerto A, 2 módulos de Captura-Comparación-PWM (CCP), puerto serie síncrono (SSP) con SPI e I2C, USART, 8 kbyte de memoria Flash de programa, 368 bytes de Memoria RAM, 256 bytes de Memoria EEPROM, dispone además de tres contadores internos totalmente configurables –timers– (2 contadores de 8bit y otro de 16bits) siendo capaz de atender hasta 15 fuentes de interrupción.

El primero de los dos PIC16F876, se encarga de la motricidad del prototipo y las rutinas básicas de su comportamiento específico. Por otra parte, el segundo microcontrolador –navegación- tiene como misión la captación de datos del exterior, gestión e interpretación de los mismos junto con la generación de órdenes para el primer microcontrolador. Además en este segundo microcontrolador se ha tomado la decisión de dejar todo un puerto de 8 líneas libre para futuras evoluciones (p.e.: la comunicación inalámbrica por RF).

Para el intercambio de información entre los módulos de navegación y motricidad, se utilizaron interrupciones o lecturas reiteradas de líneas de comunicación. De esta manera se ha generado un pequeño protocolo de comunicación paralelo. En Argos y Efesto, además de estos protocolos también se ha hecho uso del módulo de comunicaciones serie I2C integrado en los PIC16F876 liberando líneas de los microcontroladores que permiten aumentar las prestaciones de los prototipos.

2.1. Motricidad e interacción con el medio.

El bloque de motricidad constituye el cerebro de los microbots. Su núcleo está constituido por un PIC16F876 ejerciendo múltiples tareas (control de velocidad, avance, retroceso, giros, búsqueda de líneas,...). Este micro controla el driver de potencia L293E que alimenta a su vez al sistema motriz (servos FUTABA S3003 reconvertidos a motores DC), de esta forma se genera un control lineal de la velocidad mediante un sistema PWM. Entre las diferentes funciones que desarrolla este microcontrolador cabe constatar la gestión del bloque de vigilancia del entorno del robot, la creación

del tren de pulsos necesario para el correcto control de los servos directrices que nos facilitan el cambio de trayectoria de los prototipos junto con el intercambio de información con el bloque de navegación.

El control de la potencia entregada a los motores se ha realizado de manera distinta en cada uno de los prototipos. En Teseo su control se establece mediante un solo PWM que aplicado sobre los servos reconvertidos establecen la velocidad para las dos ruedas motrices. Mientras en Argos se generan dos trenes de ondas PWM, conectadas a cada rueda, ya que éstas son al mismo tiempo las responsables del avance, retroceso y giros del prototipo –modo de direccionamiento tipo tanque-. Por último para el prototipo bautizado como Efesto se recupera la filosofía del primer modelo proporcionando un sistema PWM a las ruedas posteriores –motrices-; indicar también que estas ruedas van acopladas al mismo tiempo a un servo directriz que permite su giro, mejorando de este modo los radios de curvatura.

Para la propulsión de nuestros prototipos, se pensó en utilizar motores de corriente continua del tipo que podemos encontrar en la juguetería convencional; opción que se descartó debido a la necesidad de reducir su velocidad aumentando el par del mismo. Por lo tanto en la elección del propulsor, no sólo constaba el motor de corriente continua sino también la elección del reductor adecuado. El extenso uso de los servomotores reconvertidos a motores DC en este tipo de aplicaciones –en el modelismo en general- hace que exista cierto stock en las tiendas especializadas que junto a su bajo coste (<12€) facilita la construcción del prototipo.

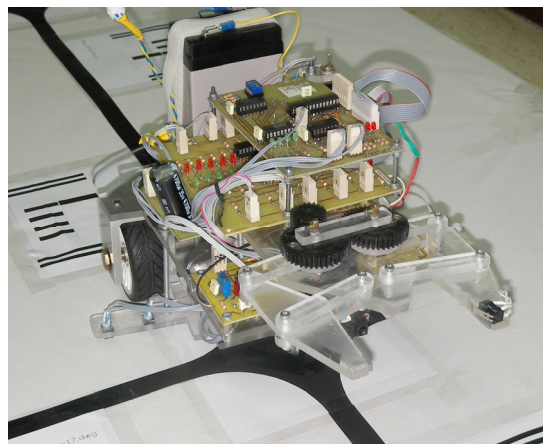


Figura 3. Prototipo bautizado como “Teseo” durante la exposición del Proyecto Final de Carrera efectuada por el estudiante Daniel Aznar y su demostración práctica en el entorno logístico planteado.

El control de potencia de estos motores se ha realizado mediante un puente en H integrado en el L293E de manera que mediante una onda PWM generada por el microcontrolador, encargado de la motricidad del prototipo, obtenemos un control variable y lineal de la velocidad. Las condiciones de incremento o decremento del ciclo de trabajo del PWM vienen proporcionados por las lecturas procedentes del peine rastreador de línea que está activo en cada momento. De manera que si la línea negra se encuentra localizada en la banda formada por cualquiera de los tres sensores centrales se incrementa paulatinamente dicho ciclo de trabajo –hasta el 100%- y por el contrario si la línea se encuentra localizada en cualquiera de los dos extremos del peine lector, el tiempo en estado alto de la señal PWM se va reduciendo hasta una velocidad mínima de funcionamiento dada por el peso a transportar, la fisonomía del microbot y las prestaciones requeridas. Indicar que en esta situación se efectúa una maniobra de corrección de la trayectoria. A modo de ejemplo decir que para Teseo este valor, determinado experimentalmente, se encuentra establecido en aproximadamente un 50% de la velocidad máxima.

Este control de velocidad se ha implementado para favorecer un comportamiento más eficiente en las curvas, ya que de esta manera disminuyen las pérdidas de seguimiento de línea y consecuentemente reducimos el número de acciones de rescate del vehículo -pérdida de tracking-. En la figura 3 podemos observar la versión definitiva del microbot bautizado como Teseo durante la exposición del proyecto final de carrera del alumno Daniel Aznar Miguel y su demostración en la aplicación logística planteada.

En las ruedas directrices de los prototipos -ver figura 4- se ha utilizado un servomotor Futaba S3003 ya que mediante una sencilla consigna de onda cuadrada con un ciclo de trabajo variable obtenemos un control de la posición más que aceptable para nuestra aplicación. En el caso que nos ocupa se posee una resolución máxima aproximada de medio grado en el eje de salida. Dadas las fisonomías anteriormente citadas, Teseo utilizará únicamente un servomotor para el control de su rueda directriz, Argos carece de servomotores pues su rueda delantera gira loca (como se ha mencionado su direccionamiento se corresponde con el tipo tanque), mientras que Efesto contiene dos servomotores para el control de la rueda directriz delantera y el giro de las ruedas motrices posteriores.

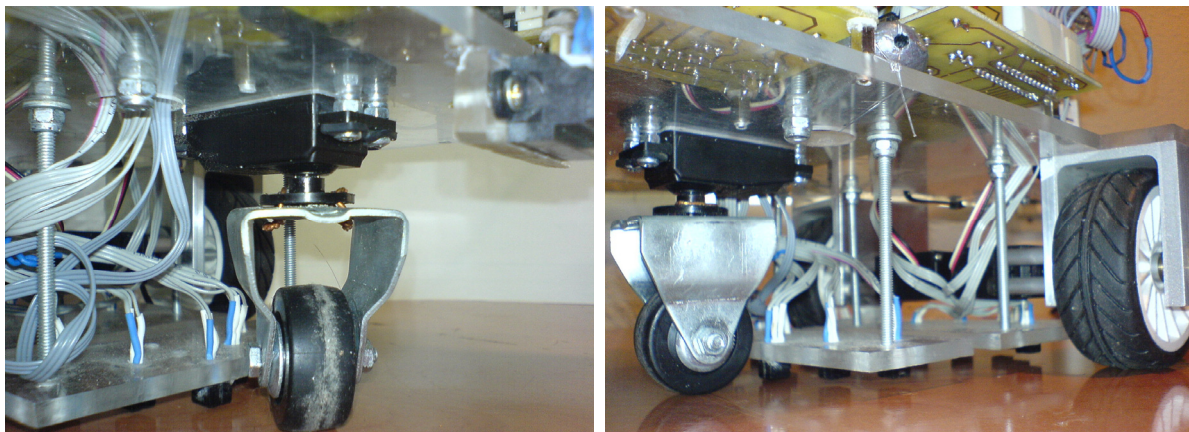


Figura 4. Detalles del servo directriz junto con el cabezal de lectura en el prototipo finalizado.

Durante el desarrollo de los prototipos se ha trabajado con diferentes tipos de sensores (mecánicos, óptico-reflexivos, resistivos...) y periféricos externos e internos pertenecientes al propio PIC16F876. El seguimiento de la línea se realiza mediante un cabezal de lectura cuyo núcleo es el sensor CNY70; este dispositivo está compuesto por diez de estos sensores colocados siguiendo una distribución en "V" sobre dos soportes independientes de metacrilato transparente, sitos en la parte inferior del vehículo a unos 4mm del suelo aproximadamente (ver figura 4). Esta disposición nos permite captar la presencia de una línea negra sobre fondo blanco. Se estudió también el hecho de trabajar con los sensores de cada peine alineados a un mismo nivel, pero su comportamiento y estabilidad en curvas no parecía ser el más eficiente. De igual forma el número de sensores se podía optimizar pero esta disminución afectaba a la respuesta, estabilidad y a la facilidad de direccionamiento del microbot. Así se concluyó que 5 sensores por sentido era el mínimo recomendable para un comportamiento aceptable considerando que se pretendía efectuar un seguimiento lo más fidedigno posible de línea. El cabezal de seguimiento de la línea utiliza cinco líneas del microcontrolador encargado de la motricidad, para la transmisión del estado de posición de la línea negra y una línea adicional para realizar el multiplexado, controlando los dos peines sucesivamente -dependiendo del sentido del movimiento-.

Además de este doble cabezal se ha dotado al sistema de motricidad de una rutina especial para recuperar la línea en casos extremos. Dicha rutina de recuperación de la línea ha sido objeto de una profunda depuración para cada uno de los prototipos mencionados, permitiendo a los vehículos trazar curvas muy cerradas que superan el radio de giro inherente a su fisonomía. En los tres microbots, el

ancho de la línea a seguir es el marcado por la separación de los sensores del peine rastreador. Por lo tanto, siempre que la línea se encuentre bajo el peine de lectura será detectada por al menos uno de los sensores.

Particularmente para el caso de Teseo -prototipo más desfavorable dada su fisonomía de direccionamiento- el comportamiento de esta rutina es el siguiente: Si la línea se encuentra en la zona de captación del peine activo, la rutina guarda la posición de la misma en un registro de memoria no realizando ninguna otra acción. En el caso de perder la línea por alguno de los extremos del peine se recurre al estado anterior almacenado para trazar una trayectoria de recuperación. Esta trayectoria ha sido programada de manera que el microbot no pueda equivocarse la línea a seguir con alguna otra que se encuentre en los alrededores del punto conflictivo. Para ello mantendrá el rumbo que le llevo a perder la línea pero en sentido de avance contrario, es decir, retrocediendo sobre sus pasos. Una vez realizada esta acción mantendrá dicha dirección y sentido hasta perder la línea del campo de visión del peine, cambiando nuevamente la marcha y corrigiendo el ángulo de la rueda directriz con objeto de localizarla de nuevo. Este hecho provoca que el prototipo encare con mayores prestaciones y probabilidades de éxito la zona donde perdió la traza.

Dado que se trata de microbots estructuralmente distintos –radios de curvatura, reparto de pesos, etc- existe un conjunto de rutinas, inherentes a cada uno de ellos, necesarias para ajustar el comportamiento de los prototipos a las prestaciones de la aplicación logística planteada. A modo de ejemplo, se exponen brevemente algunas de estas rutinas implementadas sobre el microbot ya finalizado.

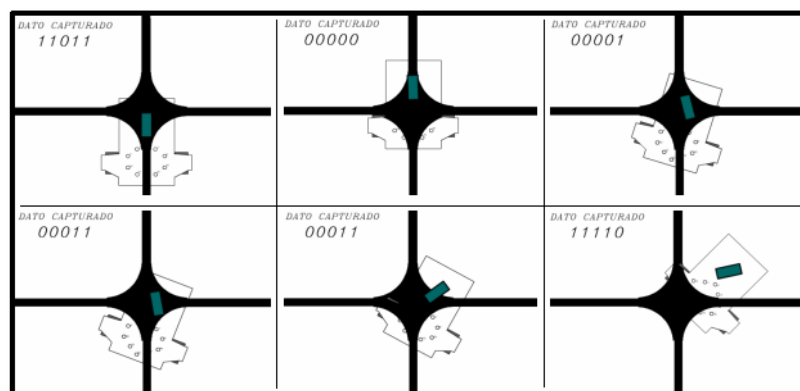


Figura 5. Secuencia de maniobras ejecutadas por el prototipo “Teseo” y dato capturado por el peine lector en cada una de las fases correspondientes a un cambio de dirección.

Otro comportamiento motriz destacable en Teseo es la maniobra efectuada en las intersecciones. En ellas se debe tomar una de las tres opciones disponibles en función de las órdenes recibidas por el sistema de navegación –orientación-. En este caso la forma geométrica adoptada por el cruce provoca que el peine de lectura detecte la presencia de línea en todos sus sensores. Si en esta situación al prototipo se le requiere que prosiga recto, se establece dicho rumbo y lo mantiene hasta que el peine lector observa zonas blancas. Si por el contrario el vehículo debe cambiar de rumbo efectúa una maniobra de cambio de dirección que consiste en sacar del cruce la mitad del peine lector retrocediendo al mismo tiempo hacia el lado donde realiza el giro, ver figura 5. Una vez efectuada dicha operación sigue avanzando mientras gira el servo directriz hacia el nuevo rumbo hasta que el sensor del extremo del peine que se encontraba en el interior del cruce vuelve a captar la zona blanca, lo que indicará que habremos superado la intersección. Si esto no se produjese y el extremo externo al cruce volviera a detectar presencia de línea, una pequeña corrección de la trayectoria es llevada a cabo. El comportamiento descrito se corresponde con el sentido de avance normal del prototipo ya que para el caso de encontrar un cruce yendo en sentido inverso de la marcha -retroceso- (p.e. caso de salir de

una estación) el comportamiento es distinto. En el caso de Argos y Efesto al poseer una mayor capacidad de giro, sus maniobras son mucho más sencillas –no precisando para este supuesto maniobras preprogramadas-.

El último de los comportamientos que atienden situaciones especiales de maniobra es el llamado movimiento de centrado. Este movimiento tiene lugar cuando es detectada la condición de inicio de etiqueta que se explicará en el apartado posterior. En esta situación se realizan una serie de movimientos en ambos sentidos de la marcha que tienen por objeto conseguir el centrado del microbot sobre la línea. Esta maniobra al igual que los casos anteriores es una función de importancia en el prototipo debido a que si la lectura de la etiqueta no se realiza de forma satisfactoria puede provocar comportamientos erróneos en la navegación sobre la aplicación logística (pérdidas temporales de orientación).

Para la captación de objetos situados en las inmediaciones de la parte delantera de los prototipos se ha optado por utilizar el sensor óptico-reflexivo GP2D120 de SHARP. El encuentro con obstáculos en el camino del microbot será tratado de manera diferente dependiendo de la distancia a la que se encuentre y pudiendo discriminar si se trata de un objeto móvil, como podría ser otro vehículo, o un objeto fijo. En un primer instante, cuando se detecta un objeto extraño a una distancia menor de 20cm, el microbot disminuirá su velocidad para evitar choques no deseados. Si la distancia disminuye hasta los 10cm, el prototipo se parará durante un breve espacio de tiempo para comprobar que el obstáculo permanece delante suya. En el caso de tratarse de un objeto móvil que se aleja, el microbot volverá a su normal funcionamiento retomando el movimiento. Sin embargo, en el supuesto que el obstáculo permanezca en la posición –objeto inmóvil- o disminuya progresivamente la distancia al obstáculo –objeto aproximándose- se indica que la trayectoria está bloqueada e inicia la función retroceso hasta que el prototipo encuentra una salida en forma de intersección; recalculando una nueva trayectoria para llegar al destino marcado.

Para la zona posterior se han colocado varios bumpers (micro-interruptores), conformando un pequeño parachoques, de manera que cuando el vehículo retrocede evita colisiones de envergadura que puedan dañar al microbot o cualquier objeto de su entorno.

2.2. Navegación y aplicación logística.

Como cerebro del bloque de navegación, se seleccionó en un principio un microcontrolador PIC16F84A sustituyéndose posteriormente por un PIC16F876. El objeto de esta sustitución, fue facilitar futuras y previsibles expansiones del prototipo. Así pues, se ha programado este micro PIC16F876 como si de un PIC16F84A se tratara, dejando libres el mayor número de periféricos internos posibles. La función de este bloque es dotar al sistema encargado de la motricidad del prototipo de la información necesaria para poder transcurrir correctamente por el almacén –aplicación logística planteada- y conseguir alcanzar las diferentes estaciones o destinos. Además deberá estar preparado para alojar los pequeños programas-drivers que interactúen con los futuros módulos conectados al puerto de expansión. Como condición de diseño se planteó que cada uno de los prototipos tuviese un algoritmo de navegación diferente, para poder de este modo compararlos en cuanto a optimización de la trayectoria se refiere.

La aplicación o tarea propuesta para el primer prototipo –Teseo- fue que partiendo de un origen preestablecido fuese capaz de acudir a un destino en concreto, seleccionado por el usuario de entre los varios posibles destinos del almacén (denominados estaciones). La selección del destino se efectúa mediante la incorporación de 4 micro-interruptores en la placa superior del prototipo, encontrándose las diversas estaciones codificadas en código binario. Una vez alcanzada la estación, el microbot se encargará de capturar la pieza y efectuar el transporte de la misma hasta el punto de origen (estación que vulgarmente denominamos inicio). De esta manera, el ejemplo de aplicación logística simula un pequeño almacén automatizado, correspondiéndose el punto de inicio con el origen y final del ciclo completo de búsqueda del microbot -donde se deposita la pieza seleccionada-. Además el sistema de

navegación tiene la habilidad de poder rectificar la trayectoria si durante el viaje encuentra algún obstáculo en su camino y poder así plantear rutas alternativas para llegar a su destino con la carga. En los prototipos Argos y Efesto se ha optado por mejorar el interfaz de comunicación con el usuario del microbot. Con este objetivo, se ha introducido una comunicación con el PC mediante la cual el usuario puede acceder a datos internos del microbot y ordenar al prototipo un destino secundario o incluso la ubicación de la pieza a través de una comunicación microbot-PC mediante infrarrojos.

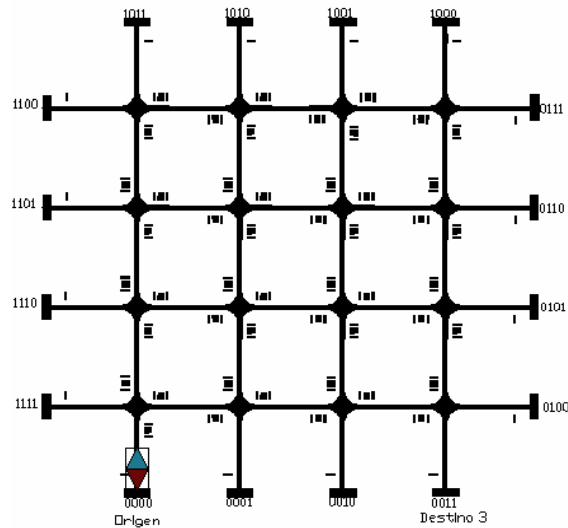


Figura 6. Esquema simplificado de la aplicación logística propuesta.

El almacén anteriormente mencionado, figura 6, está compuesto por líneas negras sobre fondo blanco a modo de rejilla, formando un total de 16 intersecciones o cruces, que simulan los diferentes trayectos –pasillos– de un almacén. Para este primer prototipo se estableció que el número de estaciones, contando el punto de entrega, fuera de 16 dejando abierta la posibilidad de crear estaciones en el interior de la rejilla para los prototipos Argos y Efesto, aumentando el pertinente grado de dificultad sobre su diseño.

Los microbots desarrollados conocen el punto del almacén donde se encuentran gracias a una serie de etiquetas, situadas en el plano del suelo y ubicadas en las proximidades de las intersecciones, con formato similar a los códigos de barras. Las dimensiones del código barrado se han determinado experimentalmente en función de las características del prototipo y del sensor reflexivo utilizado, encontrándose dichos códigos perpendiculares al trazado a seguir.

Para abordar la lectura de estas etiquetas se ha utilizado un pequeño cabezal situado en el lateral derecho del prototipo. Dicho cabezal contiene un par de pequeños CNY70, desarrollando cada uno de ellos una función específica. El situado en la parte externa, se encarga de detectar tanto el inicio de etiqueta -dos líneas finas de 4mm- como de leer la señal de reloj (CLK) y el par de líneas indicadoras de final de etiqueta. Por su parte el CNY70 interno, se encarga de leer la señal dato (DT) -líneas gruesas de la etiqueta-. Una vez detectada la señal CLK se observa el estado de la señal DT mientras no se tenga un flanco de bajada de la señal CLK. Si durante este periodo de tiempo no se detecta línea alguna bajo el dato se entenderá éste como un “0” lógico. Por el contrario la presencia de línea se considera como un “1” lógico. El peso de los datos se ha establecido “por antigüedad”, es decir, el primero en ser captado es el de mayor peso. Sirva de ejemplo el dato representado en la figura 7 correspondiente con el cruce número 12 (1100).

Este sistema de posicionamiento a través de etiquetas –utilizado como sistema de orientación y apoyo a la navegación- ha demostrado ser suficiente para poder desarrollar la aplicación logística. Pero en el afán de mejora se va a sustituir por un sistema de balizas infrarrojas para el resto de los prototipos de modo que se obtenga un sistema más robusto y eficiente; ya que la finalidad es que hasta 4 microbots puedan transitar e interactuar simultáneamente por el entorno logístico.

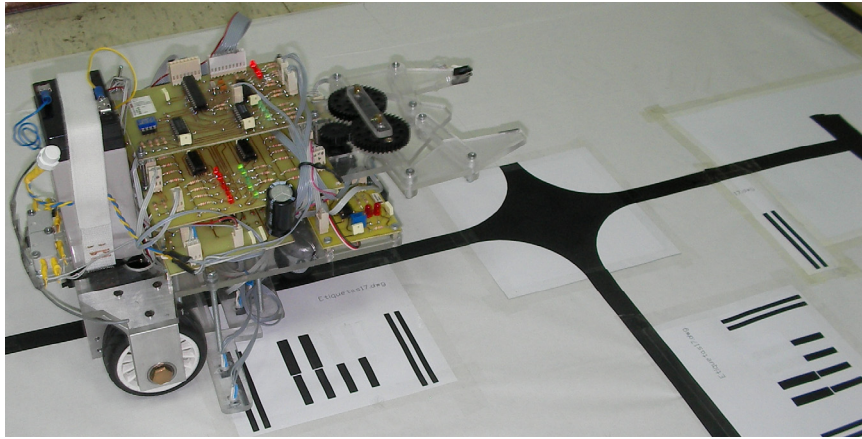


Figura 7. Ejemplo de lectura del código de barras en las proximidades de una intersección.

Para lograr dotar a los prototipos de cierta “inteligencia y capacidad de orientación” en situaciones fuera de la normalidad (p.e. camino cortado por la presencia de un obstáculo) se ha dotado al sistema de navegación de un algoritmo capaz de encontrar trayectos alternativos al óptimo –considerando como ruta óptima aquella que menor distancia y menor número de giros posee-. Para ello se implementó un algoritmo de enrutamiento “punto a punto” basado en una determinada codificación de los cruces en la aplicación logística y en las lecturas de etiquetas anteriores –operación por intervalos-.

A cada una de las fisonomías se les ha dotado de un manipulador (pinza o elevador) en su parte frontal con el fin de poder transportar objetos por el almacén. Con el fin de observar las virtudes y carencias de los manipuladores y añadir una pequeña dificultad a la programación del microbot, se estableció que fuesen diferentes en cada uno de los supuestos. Así al prototipo Teseo se le ha dotado de un manipulador estático en forma de pinza en su parte frontal estando dirigida por el micro de navegación. Tras finalizar el desarrollo de Teseo se planteó dotar de mayor inteligencia a los manipuladores. La razón de este planteamiento es obvia; mejorar la seguridad de captura de la pieza. La pinza frontal de Teseo se limita únicamente a detectar cuando tiene un objeto capturado entre sus almohadillas, mediante la activación de un micro-interruptor, dejando de apretar para no dañarlo. Por lo tanto, carece de la capacidad de reintentar capturas en caso de error o buscar el objeto a capturar en su limitada área de trabajo. Esta limitación, que se asumió como aceptable en Teseo, se suplió mediante el uso de una pequeña peana durante las pruebas en la fase de desarrollo, facilitando la captura de los objetos. Por ello, para la aplicación logística, no fue definido un tipo de pieza ni un determinado posicionamiento de la misma dentro de las estaciones correspondientes. Observando esta limitación del primer manipulador se sugirió que tanto Argos como Efesto tengan ambas capacidades convirtiéndose en microbots más fiables y eficientes. De esta forma, para compensar esa limitación, se está desarrollando para el prototipo Argos una pinza semi-inteligente controlada por su propio microcontrolador que será capaz de proporcionar un movimiento angular máximo de ± 90 grados, situada sobre una pequeña plataforma que también puede desplazarse linealmente unos centímetros. Combinando estos movimientos y un sensor de distancias, la pinza podrá reconocer la situación del objeto en un radio determinado dentro de la estación correspondiente.

Además, para poder seleccionar piezas a diferentes niveles de altura en pequeñas estanterías, el prototipo Efestó está dotado de un elevador semejante a las paletizadoras comerciales. Abriendo así posibilidad de establecer un nuevo parámetro de comparación, el volumen de trabajo de los manipuladores. El uso de pinzas para el desplazamiento de objetos de un lugar a otro del almacén limita la posición de los objetos que están dentro de las estaciones de trabajo a un único plano horizontal, cuya altura vendrá determinada por la ubicación de la pinza en el prototipo. Para conseguir una mayor aproximación de la aplicación logística a la realidad industrial, era necesario conseguir posicionar objetos a distintos niveles. Para suplir esta carencia, se está desarrollando para el prototipo Efestó un elevador semejante a las paletizadoras industriales posicionado en la parte delantera del prototipo, en sustitución de la pinza. Para su control se ha optado por el uso de un pequeño microcontrolador PIC12F675 de 8 pines, que se ajusta perfectamente a las necesidades de este control.

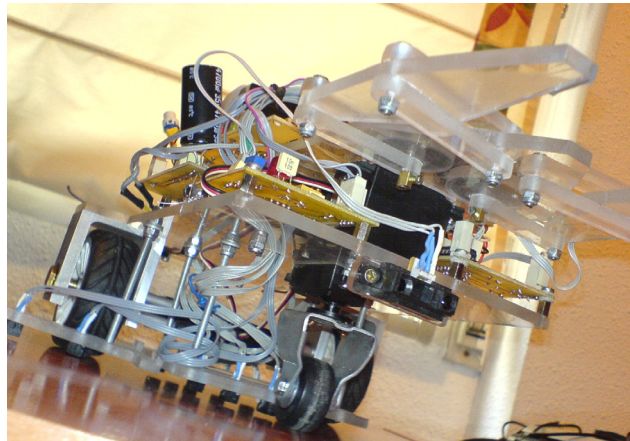


Figura 8. Vista del manipulador estático -tipo pinza- acoplado al prototipo "Teseo".

Para aprovechar al máximo el uso del elevador, se ha pensado en la incorporación de pequeños palés de madera, sobre los que estarán situadas las diferentes piezas, ofreciendo varias ventajas. Una de ellas es que la pieza no sufre un contacto directo con el accionamiento, lo que evita posibles roturas debidas a la presión que ejerce un pinzamiento. También nos facilita la apilación de estas piezas en pequeñas estanterías, lo que maximiza el número de las mismas que podemos colocar en cada estación de la aplicación.

2.3. Líneas futuras a desarrollar.

En la actualidad se está construyendo un módulo de captura de parámetros del entorno y datos característicos de los prototipos. No olvidemos que se trata de microbots de carácter logístico y este tipo de variables pueden resultar de gran valor en almacenes reales. También se han desarrollado diferentes protocolos de comunicaciones para poder realizar el trasvase de datos entre los microcontroladores anexionados en los microbots y el ordenador personal, accediendo al mismo vía USB mediante un módulo de comunicación inalámbrica por radiofrecuencia. Gracias a esta red inalámbrica, información como la posición que ocupa cada microbot en el almacén o sus diferentes destinos podrán ser monitorizados en tiempo real y supervisados en un ordenador con el fin de simular el control de un almacén industrial automatizado en el que trabajen varios vehículos, intentando optimizar su rendimiento. Evitar posibles colisiones entre los mismos dando a conocer a cada prototipo la posición de los demás, es un buen ejemplo de las posibilidades que proporciona esta red de comunicación.

Paralelamente, se está estudiando la viabilidad de la implantación de sistemas de apoyo a las baterías basados en placas fotovoltaicas o alimentación por supercondensadores como sustitutos de las pesadas baterías actuales de Pb. Comunicaciones remotas inalámbricas (WiFi) con los microbots

mediante protocolos TCP/IP acordes con la idea de Transparent Factory que defienden algunas firmas de automatismos de primer nivel están siendo objeto de estudio.

3. Conclusiones.

En este documento se han presentado varios prototipos de microbots rastreadores realizados como proyectos final de carrera por estudiantes de la titulación de Ingeniería Técnica Industrial especialidad: Electrónica Industrial. En todos los casos se encuentran constituidos por una fisonomía triciclo con diferentes controles de tracción y dirección; la elección de este tipo de fisonomía constructiva viene dada por la facilidad y sencillez en cuanto a su diseño por parte de los estudiantes. Durante su construcción se ha desarrollado el hardware formado por la estructura, sensores que detectan líneas negras, la tarjeta de control,... -por lo general común en todos los prototipos planteados- y el software necesario (dependiendo del microbot y tipo de control motriz/directriz deseado) para su correcta gestión y maniobrabilidad. En todos los casos se ha comprobado la movilidad de los prototipos desarrollados observando su velocidad, fiabilidad en el seguimiento de las trayectorias planteadas y efectuando comparaciones entre sus radios de giro y tiempo de respuesta (como p.e.: la superación de operaciones de recuperación de línea).

La respuesta por parte de los estudiantes a la selección y desarrollo de proyectos experimentales ha mejorado significativamente, encontrándose muy motivados durante todo el proceso de construcción. Esta temática junto con el desafío de elaborar un prototipo experimental ha estimulado la curiosidad de los alumnos. Al mismo tiempo se ha fomentado una competencia “sana” entre los diseñadores de cada microbot, lo que ha supuesto en ocasiones la optimización de los comportamientos de los prototipos desarrollados. Indicar también, que se ha incrementado su satisfacción con el resultado obtenido al final del proyecto.

Debido al carácter multidisciplinar que posee la robótica puede utilizarse como complemento educativo de los estudiantes y permite poner en práctica todos los conocimientos que se han ido aglutinando a lo largo de la titulación. De este modo, la construcción y diseño de los diferentes prototipos de microbots han permitido constatar las habilidades y destrezas adquiridas por parte de los alumnos; pudiendo utilizarse como indicadores de las competencias desarrolladas de forma objetiva y global.

4. Agradecimientos.

Marco de las Ayudas de la Universidad de Zaragoza, PIIDUZ_06. Convocatoria de Acciones de Innovación Docente y Renovación Pedagógica."Ensayo de una metodología activa para mejorar la eficiencia en el aprendizaje de un curso básico de electricidad y magnetismo en un primer curso de Ingeniería Técnica". Nivel B1 (Proyectos de Grupos de Asignaturas que han estado implantadas como experiencias de innovación y que desean continuar).

Referencias

- [1]. Barrientos, Peñín, Balaguer, Aracil. “Fundamentos de robótica” Ed. McGraw-Hill, 1997 ISBN: 84-481-0815-9.
- [2]. Paul E. Sandin, “Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated” Ed. McGraw-Hill, 2003. ISBN: 007141200X.
- [3]. Ver página web <http://automata.cps.unizar.es>
- [4]. Robin R. Murphy. “Introduction to AI Robotics”. Cambridge Massachusetts. Editorial MIT Press 2000. ISBN: 0-262-13383-0.
- [5]. Aaron Gage and Robin R. Murphy, “Principles and Experiences in using Legos to teach behavioural robotics”, ASEE/IEEE 33rd Annual Frontiers in Education Conference FIE03. 5-8 November 2003; Boulder CO.
- [6]. Christian Eugène, “How to teach at the university level through an active learning approach? Consequences for teaching basic electrical measurements” Elsevier. Measurement; volume 39, issue 10. December 2006, pp 936 to 946.

- [7]. L.G. Bushnell and A.P. Crick, “*Control Education via Autonomous Robotics*”, Proceedings 42nd IEEE Conference on Decision and Control 2003; volume 3. December 2003. Page(s): 3011 - 3017. ISBN: 0-7803-7924-1
- [8]. K. Schilling, H. Roth and O.J. Rosch, “*Mobile mini-Robots for Engineering Education*”, UICEE 2002 Global Journal of Engineering Education. Volume 6, no 1; pp 79 to 84. Melbourne 2002, Australia. ISSN 1328 – 3154.
- [9]. J. Pastor y F.J. Rodríguez, “*La robótica como elemento de motivación del aprendizaje en los alumnos de ingeniería y potenciación de habilidades profesionales*” TAAE’06 Congreso Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica. Madrid, julio 2006. CD-ROM de Actas del Congreso. ISBN: 84-689-9590-8.
- [10]. J.K. Archibald and R.W. Beard, “*Competitive robot soccer: a design experience for undergraduate students*”, FIE 2002. 32nd Annual Frontiers in Education. November 2002; volume: 2, on page(s): F3D-14 / F3D-19 ISBN: 0-7803-7444-4.
- [11]. Douglas Tougaw and Jeff Will, “*Integrating national robotics competitions into multidisciplinary senior project courses*”, ASEE 2005, Proceeding of the 2005 American Society for Engineering Education. Illinois (USA). April 2005.
- [12]. M. Ali Yousuf, R. Montúfar and V. Cueva, “*Robotic projects to enhance student participation, motivation and learning*”, M-ICTE 2006 Current Developments in Technology-Assisted Education 2006. Fourth International Conference on Multimedia, Information and Communication Technologies in Education. Volume 6, no 1; pp 1989 to 1994. November 2006; Sevilla (Spain). ISBN vol. 3: 978-84-690-2474-4
- [13]. Marian Petre and Blaine Price, “*Using robotics to motivate ‘back door’ learning*”, Education and Information Technologies. Editor: Springer Netherlands. Volume 9, Number 2. June 2004; pp 147 to 158. ISSN: 1360-2357.
- [14]. Martín del Brío, Bonifacio. “*Sistemas electrónicos basados en microprocesadores y microcontroladores.*” 1 Edición. PUZ, 1999. ISBN: 84-7733-516-8
- [15]. Enrique Palacios, Fernando Remiro y Lucas J. López, “*Microcontrolador PIC16F84. Desarrollo de proyectos*” 2ª Edición Ed. Ra-Ma 2005. ISBN:84-7897-691-4
- [16]. Ver página web <http://www.microchip.com>