

Robot Insecto Orientado a Comportamiento

Rodolfo Romero Herrera, Tania María Beciez Cambray, José Félix Serrano Talamantes

Escuela Superior de Computo
Departamento de Posgrado
UPLM- Zacatenco Av. Batiz y Mendizábal s/n
Col. Lindavista 07738 México, DF
Tel.. 57296000 ext. 52040
romero@ipn.mx

Resumen

Desarrollar un robot basado en comportamiento animal de un insecto; para simular el movimiento de sus extremidades (patas); e imite el comportamiento animal de un hexápodo. En este artículo se presenta una conexión entre el comportamiento animal y artificial; y herramientas para definir módulos y mecanismos para un comportamiento inteligente.

1. Introducción

El comportamiento animal guarda una relación estrecha con el funcionamiento del cerebro, por lo que la mente se puede entender a través del conjunto de funciones que realiza un sistema motriz como el del los hexápodos. La Robótica basada en el comportamiento, es el estudio del comportamiento animal y los mecanismos que posibilitan rutas que nos llevan al campo artificial, a partir de la abstracción de algunos de los principios de organización biológicos más relevantes. Puesto que la unidad básica de los robots basados en el comportamiento son fracciones que forman un todo denominado módulo a los cuales se les conoce como objetos orientados a comportamiento [1].

La Programación Orientada a Comportamientos, es una arquitectura de los años 80 empleada para el control de robots que en su momento supuso un avance sobre el control reactivo [2].

Los sistemas biológicos son un ejemplo del potencial de la inteligencia. Por lo tanto, influye en construcción de sistemas inteligentes artificiales. El estudio de los mecanismos de comportamiento animal es la base para entender la inteligencia. No obstante,

la migración no ha sido muy exitosa, debido a la notable diferencia entre arquitectura de Von Newman y la de la vida, y también a la falta de conocimiento de los sistemas biológicos.

2. Metodología

Un comportamiento se entiende como una tarea o conjunto de tareas simples que se encargan de tratar un aspecto específico de un robot (por ejemplo seguir una línea en círculo cerrado). Así la programación orientada a comportamientos divide una tarea en sub módulos o comportamientos. Estos comportamientos compiten por los recursos del robot (normalmente los actuadores) por lo que deberán estar priorizados, de tal manera que un comportamiento con alta prioridad puede "robarle" el recurso compartido a otro comportamiento con menor prioridad. Una de las primeras propuestas en este sentido fue las características del modelo de Brooks, frente a la división vertical del control que se hace en el modelo deliberativo (Percibe -> Planifica -> Actúa), Brooks propone una división horizontal, en capas ordenadas según su prioridad, de manera que las capas superiores pueden cancelar la salida de las inferiores [3].

En este artículo se implemento un hexápodo el cual posee características excelentes para librar barreras incluso con la perdida de alguna de sus extremidades. Tiene un comportamiento, que le hace andar hacia adelante, y otro, que le permite realizar giros hacia la izquierda o derecha. Este tipo de insecto no camina hacia atrás por lo que no se implemento este comportamiento. :

Ciertamente, el estudio de los mecanismos biológicos responsables del comportamiento animal sitúa el contexto a partir del cual podemos entender la inteligencia de mecanismos que pueden verse

simples, pero que las computadoras tienen una gran dificultad en imitar. Por ejemplo, aunque la computadora realiza tareas a una gran velocidad y posee millones de transistores, aun le resulta complejo atrapar una mosca como lo hace una simple rana.

En el campo de la robótica, el estudio del comportamiento animal y sus mecanismos asociados ofrecen dos posibles rutas:

- La primera consiste en algunos principios organizativos biológicos relevantes que sirvan como base para el desarrollo del robot.
- La segunda es la que adoptaremos; intenta mimetizar los mecanismos biológicos. De este grupo se extraen robots que extraen replicas de ciertas partes del cuerpo y del sistema nervioso de los insectos (patas, antenas, ojos, cerebelo, etc).

Mecanismos biológicos de comportamiento.

De acuerdo con el enfoque moderno en el campo de la neurociencia, el comportamiento es un reflejo del funcionamiento del cerebro, desde este punto de vista la mente se puede definir a partir del conjunto de funciones que éste realiza. Cada especie tiene una serie de comportamientos fijos generados por programas centrales. Podemos particularizar los comportamientos innatos como específicos de cada especie, y que comúnmente les llamamos instintos, los cuales consisten en un encadenamiento relativamente complejo de respuestas, es decir una secuencia de IF anidados dentro de un programa. Los IF anidados son secuencias que conforman estos comportamientos instintivos.

Los Instintos inician con un comportamiento apetitivo, que le invitan a satisfacer una necesidad y que consiste en una gama variada de respuestas que ayudan al animal a buscar un estímulo externo. Cada comportamiento apetitivo es seguido de un comportamiento de consumación formado por una cadena de momentos invariables (patrones de acción fija). Son activadas únicamente estímulos de señal y se parecen a los reflejos en cuanto que no necesitan del aprendizaje para dar una respuesta. Sin embargo, la respuesta no refleja fielmente las propiedades del estímulo. En la figura 1 se detalla el modelo neuronal propuesto, en el se observan las secuencias de acción fijas; tiene entradas sensoriales que se activan al recibir ciertos estímulos; el analizador sensorial permite diferenciar los diversos estímulos; a su vez estos excitan neuronas del sistema de control que

disparan un programa (motor central) responsable de generar una secuencia lógica de comportamientos.

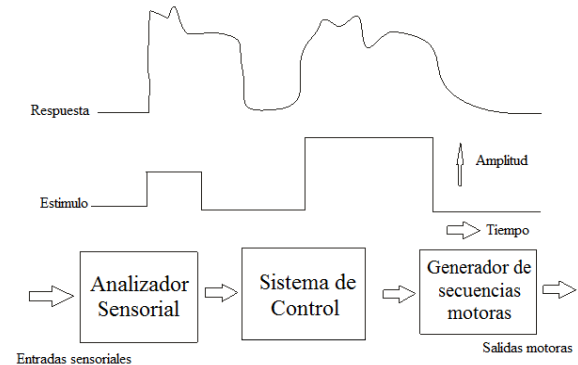


Fig. 1. Secuencias de acción fijas. Respuesta a diferentes estímulos y modelo simplificado del sistema.

Basados en este sistema, se quipó al sistema de sensores de contacto que le permiten tomar decisiones acerca de sus giros. Para lo cual debe tener las tres etapas de la figura 1.

Desde el punto de vista artificial, un comportamiento se puede entender como una transformación que relaciona uno o varios estímulos sensoriales con una respuesta motora del robot. Así este comportamiento, que está siempre orientado a resolver una tarea concreta, queda caracterizado matemáticamente a través de una función que relaciona directamente dominios sensoriales y motores. Ver figura 2. Esta vinculación directa entre el mundo sensorial y motor, proporcionada a través de la síntesis de un comportamiento artificial, permite al robot responder de forma muy rápida en tiempo real. En este caso, el comportamiento artificial derivado encontraría su homólogo biológico en los reflejos, taxis y secuencias de acción fija de el movimiento de la patas del insecto. Al igual que en los modelos biológicos sobre las secuencias de acción fija, la relación que el comportamiento artificial establece entre el mundo sensorial y motor permite dividir en un esquema sensorial y un esquema motor. En este punto debe preocuparnos si el comportamiento obedece a un mecanismo inteligente. Sin embargo, el comportamiento de todos los organismos vivos, está modelado por la interacción de los genes y el entorno. Es decir; existe en todo comportamiento un componente innato determinado por los genes. Entonces si el pensamiento y el comportamiento son funciones del cerebro, el comportamiento también está influenciado por factores genéticos; como ocurre con los órganos del cuerpo.

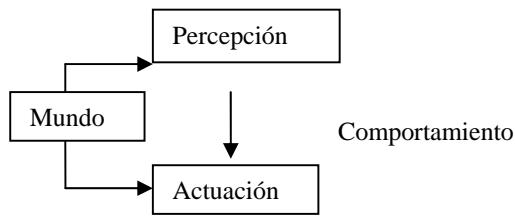


Fig. 2 Comportamiento artificial

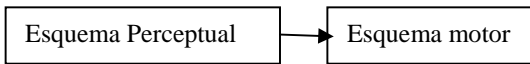


Fig. 3. Comportamiento como esquema perceptual + motor

3. Resultados

Para aplicar estos conceptos mimetizamos un hexápodo; poniendo énfasis en la patas.

Se elige modelar insectos debido a un sistema nervioso simple y un sistema mecánico que contribuye a una postura estable para su control en el plano vertical, debido a que la altura de su centro de masa es baja con respecto a la anchura de su base.

Las patas cumplen en los insectos, así como en otros animales funciones de soporte y de locomoción. En términos de soporte el número mínimo de apéndices, para obtener estabilidad, debiera ser 3, por lo que las 6 patas que presentan los insectos corresponden a una situación prácticamente óptima para lograr los dos objetivos, ya que teniendo 3 puntos de apoyo, las otras pueden lograr una nueva posición donde actuar sin que haya pérdida de estabilidad.

Consecuentemente los hexápodos pueden resistir el volcar por los esfuerzos de torsión, y gracias a tener tres piernas en la tierra son estáticamente estables durante la locomoción si su centro de masa cae dentro del trípede que le sostiene. Ver figura 4.

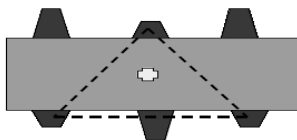


Fig. 4. Centro de masa de un hexápodo.

El insecto se desplaza en planos horizontales de dos dimensiones, principalmente por que los insectos funcionan bien en un plano horizontal, y la morfología de sus patas permite ignorar el plano vertical. La opción del plano horizontal quita totalmente la gravedad del modelo.

4. Análisis de resultados

Análisis Dinámico

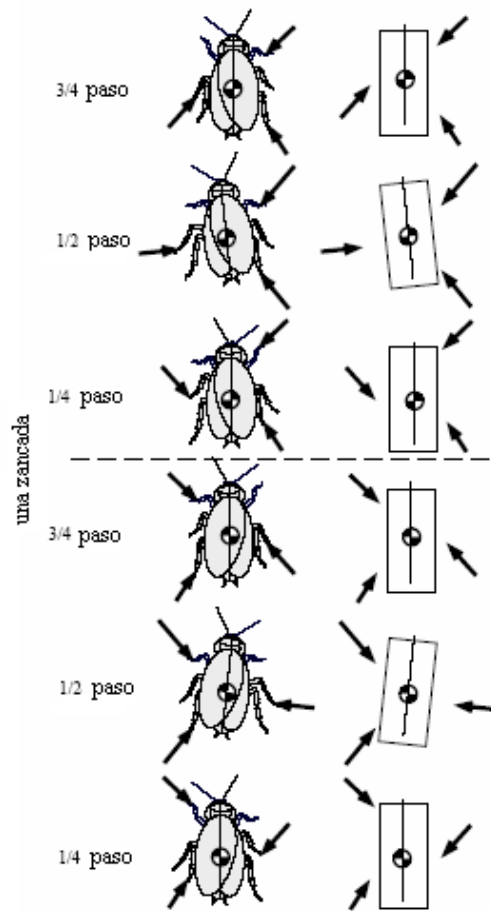


Fig. 5. Dinámica de dos dimensiones del funcionamiento hexápodo.

La pata delantera genera una fuerza que desacelera en la dirección de delante hacia atrás, mientras que la pata trasera genera una fuerza de aceleración a través del período del paso. La pata media desacelera en el primer 1/2 del período del paso ($t = 1/4$). La pata media genera solamente una fuerza lateral en el instante ($t = 1/2$). La pata media produce una fuerza de aceleración durante el último tercio del período del paso ($t = 3/4$). Los trípedes se intercambian durante el

paso siguiente (sobre la línea punteada) (Figura 5). La columna derecha demuestra la simplicidad del modelo que se utilizó en el estudio. El rectángulo representa el cuerpo y las flechas demuestran las fuerzas de la reacción con tierra. Solamente tres grados de libertad fueron permitidos, dos de translación y uno de rotación. Nosotros detectamos los dos grados de libertad de translación en dos sistemas coordenados [4].

Análisis Cinemático

La centralización de las funciones de locomoción en un tagma torácico presenta, además de las ventajas de la especialización, un aspecto mecánico importante, considerando la ubicación del centro de masa en esta misma zona.

Para cualquier animal u objeto, la aplicación de fuerzas que tiendan a desplazarlo, deben pasar por el centro de gravedad para lograr un avance, de lo contrario sólo provocan un giro del cuerpo sobre sí mismo.

Durante la marcha se observa, en general, un esquema bastante constante que se ha descrito como una alternancia de trípodos de apoyo sobre el suelo; mientras se levantan y atraen, para tomar una nueva posición, la pata derecha 1, izquierda 2 y derecha 3, se mantienen en el substrato izquierda 1, derecha 2 y izquierda 3. La secuencia real presenta pequeñas diferencias con respecto a esta generalización (Figura 6), asegura también estabilidad y una buena propulsión.

El rumbo del animal (la dirección del vector de la velocidad media del centro de masa) debe de ser desviado y el cuerpo del animal debe girar para mantener el eje del cuerpo alineado con el rumbo. Usando dos cinemáticas dimensionales para estimar fuerzas netas y momentos de rotación para estimar fuerzas de reacción-tierra de una sola pata durante la vuelta.

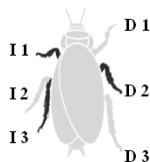


Fig. 6. Trípodos de apoyo.

Las frecuencias de pasos grandes y factores de trabajo no se diferenciaron entre las patas durante la vuelta. Las patas interiores terminaron sus pasos más cerca al

cuerpo durante todo lo largo de la carrera, contribuyendo a girar el cuerpo. Sin embargo, las piernas interiores no contribuyeron con fuerzas o momentos de rotación a la vuelta del cuerpo, pero activamente empujaron contra la vuelta.

Las patas más lejanas al centro de rotación sobre el exterior de la vuelta contribuyeron con la mayoría de fuerza y el impulso de momento de rotación que hizo que el cuerpo diera vuelta.

El giro no puede ser determinado exclusivamente con cinemática. Para interpretar la fuerza de una pata observada durante el giro, se desarrolla un modelo que relaciona fuerza-pata con pata-posición. El modelo predice que todas las patas podrían girar el cuerpo.

Las patas delanteras deben de contribuir con más eficacia a la vuelta produciendo fuerzas casi perpendiculares al rumbo, mientras que las patas medias y traseras deben de producir fuerzas paralelas al rumbo.

Cuando el hexápodo está dinámicamente estable la producción de fuerza necesaria para girar requiere mínimas alteraciones en la fuerza, a lo largo de la locomoción continúa al frente.

Una consideración de maniobrabilidad en el plano horizontal reveló que la postura adoptada por el diseño del cuerpo hexapodal puede proveer un funcionamiento excepcional con un control simplificado.

La fuerza, velocidad y la inercia son importantes para mantener el movimiento estable, en particular con una velocidad alta.

Cada pata del trípode (una pata delantera, la pata trasera de un lado y una pata media sobre el otro) funciona de manera diferente. El par de patas de frente (prothoracic) solamente desacelera al insecto durante la fase de postura, mientras al mismo tiempo las patas traseras (metathoracic) solamente aceleran al animal hacia delante. El par de patas medio (mesothoracic) trabaja como piernas humanas, primero desacelera y luego acelera el cuerpo durante un paso.

La ejecución de una vuelta acertada implica al menos dos exigencias. Primero, el rumbo medio del animal debe cambiarse de una dirección inicial durante lo largo de la carrera a una nueva dirección (Fig. 7A). Este ángulo de desviación del centro de masa (COM) la trayectoria (θ_d) depende de la magnitud del impulso de fuerza perpendicular (F_p , el perpendicular

de fuerza al título de inicial, integrado durante el período de paso) en relación con el ímpetu avanzado del COM (el producto de masa de cuerpo y la velocidad avanzada).

Para dar vuelta, el animal debe desviar la dirección del vector de velocidad de su centro de masa, de una inicial que se dirige a un punto final. Esto requiere una fuerza perpendicular al rumbo, F_p . La magnitud de esta desviación es θ_d (Figura 7 A). El animal también debe hacer girar su cuerpo por θ_r para mantener el eje delantero alineado con el eje que se dirige al final de la vuelta (Figura 7 B).

Esto requiere un momento de rotación, F_l , donde la F es el resultado la fuerza horizontal y la l son el brazo de momento (Figura 7).

Una segunda exigencia para una vuelta acertada implica el giro del eje delante-atrás de modo que esto alinee con el del rumbo (Figura 7 B).

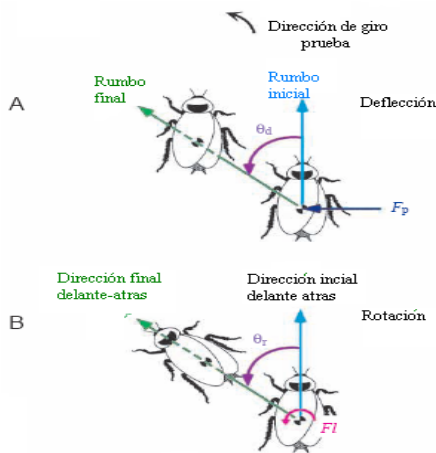


Fig. 7. Vuelta de un hexápodo

Para reducir al mínimo el grado de desalineación entre la desviación y la rotación de cuerpo, el impulso de momento de rotación (el momento de rotación neto integrado durante el período de paso) en relación con la inercia del cuerpo sobre el eje debe causar una rotación (θ_r) igual a la desviación que se dirige.

Los tres sistemas de coordenada que son empleados en el estudio. El eje de abscisas global. Los sistemas de coordenada basados en el rumbo del animal y el eje delante-atrás también son usados (Figura 8 A). Colocaciones de pie expresados en

coordenadas polares (la r , θ) en relación con el eje delante-atrás, con el origen en el centro de masa (COM). Flechas verdes indican las direcciones positivas de los ejes delante-atrás y laterales. El eje positivo lateral fue definido para ser ortogonal al eje delante-atrás y estar en la mitad del sistema de coordenada que contiene el centro neto de rotación de la prueba (Figura 8 B). El rumbo (flechas azules) (Figura 8 C).

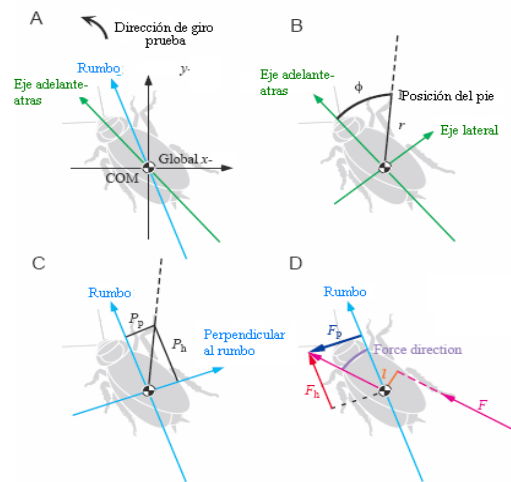


Fig. 8. Diferentes Sistema de Coordenados.

Un eje fue escogido para estar a lo largo del rumbo. La dirección del eje perpendicular al rumbo fue definida para ser ortogonal al rumbo y estar en la mitad del sistema coordinado que contiene el centro neto de rotación de la prueba. La posición de la pata en relación con el rumbo se expresa en coordenadas Cartesianas. P_h es la posición paralela de la pata al rumbo. P_p es la posición del perpendicular de la pata al rumbo. (Figura 8 D) variables Cinéticas. El resultado fuerza horizontal (F ; la flecha de magenta) puede ser resuelta en la paralela de componentes (F_h ; flecha roja) y perpendicular (F_p ; flecha azul) al rumbo. F_p causa a la dirección de movimiento para desviarse).

El brazo de momento (l) es la distancia perpendicular entre el COM y la línea de acción de la fuerza de resultado. El ángulo de dirección de fuerza fue calculado en relación con el eje que se dirige_[16].

Las patas del insecto le proporcionan la estabilidad y locomoción. Este tipo de pierna se extiende lateralmente hacia fuera del cuerpo, tal como se comporta un insecto. Ver Figura 9.

La extensión lateral presenta inestabilidad conforme aumenta su altura. Los movimientos de la pierna con un paso grande hacia el frente, provocan que el punto del contacto de la pierna en la tierra aumente y después disminuya con respecto al cuerpo. Las piernas en la parte lateral del cuerpo tienen contrapartes que rotan en el lado contra lateral. Las fuerzas laterales generadas durante el paso grande tienden a mover el cuerpo, dando por resultado la pérdida de tracción en algunas de las piernas. De manera similar ocurre en el cuerpo del insecto.

El punto de pivote esta rígidamente conectado al cuerpo; las fuerzas laterales generadas por el desplazamiento lateral de contacto, así como las oscilaciones de la pierna en su arco causa una pérdida de tracción en la base.

Para reducir la pérdida de tracción se decidió levantar y bajar el segmento C de la pierna, ver Figura 9, con esto se mantiene la tracción necesaria para sostener en un punto la pata mientras el robot avanza. Además se introdujo un segmento B para mover el segmento C y mantener estable el movimiento de levantar-bajar pierna.

El segmento B funciona como tope cuando la pata se encuentra en contacto con el piso impidiendo que el peso del cuerpo doble las patas.

Cuando se muestre una ecuación en el artículo, dicha ecuación ha de numerarse. La numeración se efectuará de acuerdo al orden de aparición de la ecuación en el artículo. La numeración se efectuará con números arábigos encerrados entre paréntesis. A continuación se muestra un ejemplo de una ecuación:

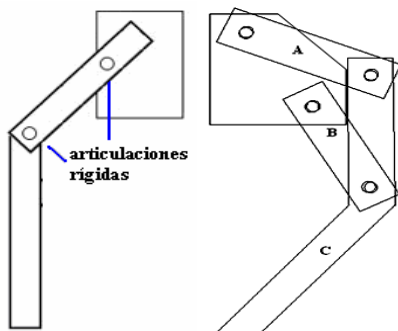


Fig. 9. Patas del robot insecto

Diseño físico del sistema de locomoción.

El sistema de locomoción se lleva a cabo por medio de 2 motores que le dan dos grados de libertad al insecto. El movimiento coordinado de 6 patas de este tipo permite a un robot avanzar, retroceder o girar. Ver Figura 10.

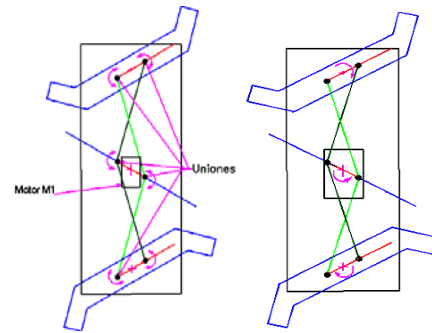


Fig. 10. Sistema de locomoción

El insecto desarrolla en base al comportamiento de un insecto se puede ver en la figura 10.

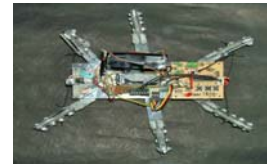


Fig. 10 Insecto diseñado

4. Conclusiones

El empleo de la programación orientada a comportamientos aplicada a la robótica, tiene un gran impacto debido a la comprobada evolución de las especies. El imitar el comportamiento de los insectos debe impactar significativamente al dividir un problema en sub módulos y llevarnos a la robótica fractal.

El hexápodo, no es mecanismo fácil de imitar aun que solo se hayan realizado dos comportamientos el caminar hacia adelante y los giros. Sin embargo las piezas de la patas no tienen una arquitectura simple.

Referencias

[1] Rafael Lahoz-Beltrá Ed. Diaz De Santos; Bioinformática. Simulación, vida artificial e inteligencia artificial; Diaz De Santos; España; 1er edición; 2004;
 [2] Sergi Bermejo; Desarrollo de robots basados en el comportamiento; UPC; España; 2ª edición; 2003
 [3] Rodney Brooks; A Roboust Layered Control System for mobile Robot; MIT; 1985.
 [4] [Robots Argentina, 9 de Marzo de 2006. <http://axxon.com.ar/mus/info/040522.htm>