

Aspectos básicos de Robots Autónomos y Lineamientos para la Construcción de un Equipo de Fútbol Robótico

Ing. Balich, Néstor Adrián [e-mails: nestorbalich@8bytes.com.ar]

Facultad de Tecnología Informática
Universidad Abierta Interamericana
Chacabuco 90 1er. Piso
Buenos Aires – Argentina

Mayo, 2004

Abstract

El objetivo de este trabajo es analizar y sintetizar los principales aspectos necesarios en la construcción de un equipo de fútbol robot, tanto hardware como software. Describiendo tanto las principales características físicas de los robots autónomos como los aspectos a tener en cuenta para su control.

Se presenta luego una breve descripción de las características distintivas del entorno de fútbol robótico, resumiendo los puntos que deben ser abordados y resuelto por el desarrollo de la solución. Por último se realiza una introducción al modelo de agentes de software como ambiente propicio para la integración del sistema de robótico.

Keywords: Agentes, Fútbol-Robot, Construcción, Autónomos, Inteligencia-Artificial

I. Introducción

Uno de los principales problemas en el diseño de robots autónomos es la necesidad de contar con algoritmos capaces de tomar decisiones en tiempo real, mientras realiza un conjunto de complejas tareas, como por ejemplo la percibir y analizar de su entorno, determinar una estrategia, coordinar el conjunto de robots, etc.

Para tener una idea clara de esta complejidad, resumiremos algunos aspectos importantes a considerar en la arquitectura de robot móviles. Entre ellos encontramos: la definición de los sensores, los mecanismos de desplazamiento, el cálculo de trayectorias por métodos de cálculos trigonométricos mediante arcos y rectas (Sung-oh et.al, 1999) o también aquellos que incluyen variaciones en la trayectoria con el objetivo de esquivar obstáculos (Santos, et al), el entorno, la conformación dinámica de

estrategias, aprendizaje, identificación de objetos, y validación de reglas entre otras cuestiones.

Este trabajo se encuentra básicamente organizado con una primera sección descriptiva sobre robots móviles, su entorno, sensores, medio de transmisión y selección de un modelo de robot. En la segunda sección se describe el entorno de fútbol de robot, sus reglas, el tipo de robot usado, y un resumen de los puntos a atacar en el desarrollo del software. La tercera sección es la definición del enfoque seguido en el desarrollo del software. La cuarta sección nos introduce en el tema de agentes de software y sus diferencias con los modelos de objetos. En la quinta sección se abordan temas referentes a estrategias y control de robot móviles incluyendo reconocimiento de imágenes. Por último una conclusión final integradora de todo el trabajo.

II. Robots móviles

Hoy en día la robótica como herramienta educativa y de investigación poco a poco va ganando terreno en el ámbito académico, evidenciándose sobre todo en países más desarrollados.

Existen robots y máquinas automatizadas en muchos lugares facilitando el trabajo diario, van desde cajeros automáticos hasta brazos robots de ensamblaje, pintura presentes en la industria electrónica, automotriz, etc.

No se pretende hacer una clasificación de todas las clases de robots existentes, sino centrarse en robots móviles utilizados en investigación robótica. Con tal motivo haremos una primera división en dos áreas:

Robot de investigación

Son herramientas para el ensayo de algoritmos, técnicas de inteligencia artificial, métodos de desplazamiento, tecnología en comunicaciones, etc. En muchos casos sirven de base para futuros robots con aplicaciones en el mundo real. Por ejemplo robots busca minas (basados en robot rastreadores), de exploración espacial como sondas Viking y los muy conocidos Pathfinder (NASA, 2004) que a su vez sirvieron de base para la serie de robots Rovers utilizados en la exploración marciana.

Robots autónomos y teledirigidos

Se define como robots teledirigidos a aquellos que necesitan la intervención de un operador humano, ya sea en forma parcial o total, por ejemplo los utilizados en la desactivación de explosivos.

Llamamos autónomos a aquellos que son capaces de tomar sus propias decisiones basados en la comprensión del entorno en que se encuentren. Dentro de esta categoría nos ocuparemos principalmente de los móviles del tipo vehículo. Se hace esta distinción pues existen numerosos tipos de robots de variadas configuraciones que se encuadran en esta categoría. Como es el caso de un brazo robot con visión artificial sin asistencia humana realizando tareas de clasificación de objetos.

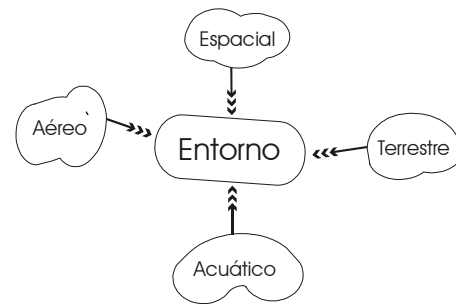
El Entorno

Está compuesto por el medio en el cual se desplazará el robot, los obstáculos, el ambiente y los actores intervinientes.

Es posible clasificarlo en cuatro tipos básicos, acuático, terrestre, aéreo y espacial.

Define los mecanismos que permiten al robot moverse, sumando la tarea a realizar define también la cantidad de sensores y actuadores, la potencia necesaria, la complejidad de los algoritmos de toma de decisiones, etc.

A su vez se dividen en ambientes extremos, normales y controlados:



Tipos de entornos

Extremos

El ambiente en donde el robot debe operar es realmente hostil, no apto para la vida humana y muy exigente con respecto a las características constructivas del robot.

En esta categoría agrupamos los robots de exploración submarina profunda, robots de manipulación y mantenimiento de centrales atómicas, etc.

En el caso de robots semiautónomos que necesitan de supervisión humana, podemos citar: los de exploración de alta atmósfera, sondas espaciales, robots de exploración marciana.

Normales

Es el entorno natural en donde un ser humano realiza su actividad, no es perjudicial para su salud, y las condiciones del entorno pueden variar sin previo aviso. Un ejemplo de esta variación es el clima y la luz ambiente que son consideradas como variable del entorno.

Entre este tipo de robot están, los de limpieza, de pintura en líneas de montaje, vehículos de transporte público totalmente automatizados, y aquellos destinados al juego, entre otros.

Controlados

Están creados por el ser humano, se compone de un conjunto de variables bien definidas como ser el terreno, el ambiente, los contrincantes, etc. Estas se encuentran acotadas dentro de valores conocidos, dejando solo de ser necesario un cierto margen fuera de control (sin intervención), esto es muy común cuando se necesita un análisis próximo a la realidad.

Como ejemplo tenemos el caso del fútbol de robots. En este entorno ciertas características permanecen estables en el tiempo, mientras otras como los contrincantes o el movimiento de la pelota quedan fuera de nuestro control.

Terrestres

Es el más familiar para nosotros, muy fácil de implementar. Los robots creados para este entorno son de fácil construcción y se basan en conceptos de mecánica muchas veces ya probados. En muchos casos solo es cuestión de dotar de inteligencia a un vehículo convencional. Ha dado origen a muchas alternativas de desplazamiento que van desde lo convencional a modelos de imitación del mundo animal.

- Humanoide, reproducen el desplazamiento bípedo humano ASIMO (Honda, 2004).
- Arañas o hexápodos de múltiples patas.
- Rastrero que simula el desplazamiento de serpientes Snakebot (NAI, 2004).

Aquellos que no se encuentran en la naturaleza, del tipo :

- Orugas como en máquinas excavadoras.
- De pistón, por saltos.
- Con ruedas

Configuraciones con ruedas:

- A) Dos ruedas con tracción independiente, cada rueda es controlada por un motor individual que se controla por separado, esto le permite realizar giros sobre sí mismo con solo invertir el sentido de giro de una de las ruedas con respecto a la otra.
- B) De cuatro o tres ruedas en donde un par de ruedas se encuentran unidas a un único eje de empuje horizontal controlado por un motor y otro motor controla la dirección, es el caso de los automóviles convencionales.
- C) Omnidireccional (Keigo, 1998) mediante tres o más ruedas con tracción individual logra desplazarse de manera inmediata en cualquier dirección, siendo más complejo en su construcción y manejo. La dirección está dada por el vector de dirección resultante formado por la suma de los vectores de dirección de cada rueda.

Acuáticos o submarinos

En el medio acuático los robots pueden ser impulsados por diferentes métodos, el más común es mediante hélices o turbinas, otros buscan simular el comportamiento de animales acuáticos utilizando aletas, o con movimientos ondulatorios tipo serpiente, etc.

Aéreos

Principalmente estudiado en investigaciones para aplicaciones militares, por ejemplo en aviones de exploración autónomos, cuyo objetivo principal es incursionar en las líneas enemigas sin ser detectados, con el fin de realizar un reconocimiento visual del terreno y del enemigo, aviones de exploración climatológica, globos aerostáticos, dirigibles, helicópteros y también una nueva línea de investigación muy interesante que busca reproducir el aletear de diferentes insectos.

Un ejemplo es el robot aéreo de comunicaciones impulsado por energía solar, desarrollado por la empresa (Aerovironment, 2004) que funciona operando al igual que un satélite de comunicaciones.

Espacial

En este tipo se agrupan a los robots que navegan en el espacio exterior. Utilizan medios de propulsión especiales como ser motores de propulsión nuclear, iónicos, de combustible sólido o mediante cálculos gravitacionales, etc.

En esta clase de robots es especialmente necesario contar con un gran grado de autonomía debido a que cuanto mayor sea la distancia de la tierra se producirá demoras cada vez más grandes en la transmisión y recepción de datos, haciendo muy dificultoso o imposible operarlos de forma teledirigida. Por lo tanto deben poder controlar sin asistencia humana, su sistema de propulsión, monitorear y/o corregir su trayectoria, al mismo tiempo que realizan las mediciones y las tareas que le fueron asignadas.

El medio ideal

En este punto ya podemos establecer como un entorno terrestre y controlado como el ideal para nuestra investigación, además de elegir un robot tipo vehículo con ruedas dada su facilidad y bajo costo de construcción.

Sensores

Es necesario que el robot sea capaz de percibir el ambiente en donde se encuentra, analizarlo y luego con estos datos realizar un plan de acción. Al aplicar este plan de acción también debe realimentarse de las variaciones que éste sufra y de manera recursiva hacer las correcciones necesarias hasta alcanzar su objetivo. Haciendo una analogía con los seres humanos los llamaremos los sentidos del robot. Se debe seleccionar el tipo de sensores a utilizar. Mediante un pequeño ejercicio mental pensemos en que sentidos intervienen en el acto de caminar, diríamos sin duda que el de la vista es el principal de ellos, pues nos permite, definir un punto de origen, uno de destino, y trazar una trayectoria imaginaria entre ambos, identificar posibles obstáculos, determinar nuestra velocidad y el grado de avance. Otro importante es el del equilibrio, fundamental en robot con patas, sobre todo en los del tipo humanoide. Con el objetivo de simplificar el

modelo usaremos un robot tipo vehículo de dos ruedas como los Khepera (UBASot,2004).

Visión

El proceso de digitalización de la imagen se realiza mediante una cámara de video y una placa digitalizadora encargada de transformar la señal de video a formato digital. Una vez transformado a digital puede ser procesado y almacenado por el computador.

Es común pensar que es simple lograr que un robot vea lo mismo que nosotros. En realidad esto es muy cierto en el sentido de captura de imágenes, e incluso puede ser mejorada, sobre todo con los últimos avances en electrónica y video que permiten capturar imágenes en un amplio rango del espectro lumínico, rayos X, infrarrojo, o con amplificadores que permiten tomar imágenes con mínimas cantidades de luz.

Su complejidad radica en la dificultad que presenta el análisis de estas imágenes, cada imagen es traducida en millones de puntos con diferentes intensidades de luz, para luego ser analizados por el software, para realizar este análisis también debe poder eliminar el ruido en la imagen producto de reflejos, sombras, contrastes, etc.

Una vez que la imagen es depurada se debe separar a los objetos del fondo, identificarlos, diferenciarlos entre sí, determinar si son obstáculos fijos o en movimiento, etc. Esta tarea asume la forma de millones de cálculos que deben ser realizados rápidamente, esto es así porque el robot se encuentra desplazándose mientras controla el sistema de locomoción, definiendo un plan de acción a cada instante con la realimentación visual. Por consiguiente si el robot se demora mucho tiempo en identificar un obstáculo, la acción correctiva para esquivarlo llegaría demasiado tarde y no podría evitarse la colisión con el mismo.

En la práctica es recomendable minimizar la cantidad de datos a analizar, un método es disminuyendo el grado de exactitud de la imagen. Por ejemplo si no es necesario diferenciar colores se puede usar una cámara monocromática o en el caso de usar una cámara color transformar la imagen a niveles de grises, luego aplicando ecuaciones de

reconocimiento de bordes identificar formas, para por último compararlas con las almacenadas y así identificar al objeto.

Una buena idea para determinar distancias y obstáculos es usar dos cámaras paralelas simulando la visión estereoscópica humana, de esta manera por una simple triangulación de cada punto de la imagen tomada por cada cámara, se calcula las diferentes distancias. (Technische Universität München).

Sensores de visión simples

Existen también sensores simples que podemos considerar como de visión. Esto son los sensores infrarrojos, los láser, etc. El objetivo de estos sensores no es reconocer un objeto, sino detectar su presencia y en algunos casos hasta calcular la distancia que lo separa, son muy útiles cuando se necesita evitar un obstáculo. Esta distancia se obtiene mediante el cálculo del tiempo en que tarda el haz lumínico en rebotar contra el objetivo.

Este tipo de sensores también es muy usado en la detección y seguimiento de líneas.

Audición

Sonares

Reconocen el entorno en base a sensores del tipo ultrasónico u otro medio de captación de sonido. Es un método poco familiar pero bastante utilizado en robótica.

En la naturaleza es utilizado por los murciélagos que al no emplear la visión normal debido a sus hábitos nocturnos, necesitan reemplazarla por un sistema que le permite reconocer su entorno en base al rebote de las ondas sonoras. Estas ondas sonoras son de una frecuencia ultrasónica fuera del espectro audible humano, por ello este método es inaudible para nosotros.

Estos sensores van desde muy complejos tipo radares o sonares que permiten reconocer objetos, hasta los mas simples que cumplen la función de detectar la presencia de objetos (O.T.R.I).

Reconocimiento acústico

Mediante un micrófono se realiza la captura del sonido, se digitaliza y se procesa por un programa analizador de señales.

Se puede detectar la proximidad de otros robot debido al ruido de sus motores, determinar el ruido ambiente (filtrarlo si fuera necesario) y permitir el intercambio de información entre robots o con el ser humano.

La transferencia de información se puede lograr mediante un sistema de reconocimiento de ordenes verbales. O de forma mas sencilla con un método de modulación por tonos, al igual que con los módems telefónicos.

Táctiles

Haciendo una analogía con los dedos humanos podemos realizar una clasificación en base a la forma en que perciben (sencen) su entorno:

A) Sensores de presión del tipo piezoeléctrico, su funcionamiento se basa en traducir la fuerza ejercida sobre ello (por ejemplo al presionar un objeto con el sensor) en un potencial eléctrico proporcional a dicha fuerza, entonces comparando con una escala de tensión, se obtiene el valor de la fuerza ejercida.

B) Sensores de contacto eléctrico (switch), consta de dos contactos separados por una distancia (que llamamos X) y al ejercerse presión sobre ellos se los junta mecánicamente produciéndose el contacto eléctrico entre ellos.

Son utilizados generalmente para detectar colisiones contra objetos como por ejemplo paredes, o la presencia de los objetos que se desean manipular.

Temperatura

Traducen la temperatura a un valor digital muy útiles a la hora de proteger motores, o ejecutar determinada acción al llegar a un valor predeterminado.

Velocidad y Desplazamiento

En un robot es muy importante tener una noción exacta de la cantidad de pasos y la velocidad, pues esto permite calcular la distancia recorrida, y administrar eficientemente la energía consumida.

Un método usado para controlar motores de CC es usar un encoder (contador de pulsos) similar al utilizado en el sensado de la posición de un mouse de pc.

Otra alternativa es usar motores paso a paso en donde la distancia y velocidad están dadas por la señal que se usa para comandarlos, pudiéndose de igual manera lograr una realimentación con el método anterior. El alto costo y la dificultad de encontrarlos en el mercado local lo hacen menos elegible.

Medidor de tensión

Al igual que los humanos necesitan ingerir alimentos para restablecer sus reservas de energía y racionarla de acuerdo a su actividad física, es conveniente que un robot pueda administrarla de igual manera. Esto se logra usando sensores de tensión que transforman el voltaje sensado en un valor digital.

Posicionamiento

Son sensores de orientación que permiten ubicarse geográficamente al igual que lo hace una brújula en función de los polos magnéticos.

Dentro de esta categoría se incluyen los equipos de posicionamiento global (GPS).

Inteligencia distribuida

Hablaremos de dos tipos de robot autónomos:

- Los que llevan montada sobre ellos la inteligencia (computadora) encargada de procesar todos los datos y ejecutar los algoritmos de control.
- Y aquellos que se comunican con una computadora central encargada de realizar estas acciones.

En el primer caso la principal desventaja es que los robots deben ser grandes y pesados, con motores potentes pues deben trasportar el computador, esto trae como consecuencia un

mayor consumo de energía, aumentando el tamaño de la baterías utilizadas.

En el segundo caso la inteligencia (computadora) se encuentra ubicada fuera del robot. Esto permite una disminución en el peso del robot, por ello pueden utilizar baterías mas pequeñas, independizándose en cuanto al hardware utilizado en el controlador central. La desventaja es que se debe establecer un vínculo de información entre ambos, haciendo que la velocidad de respuesta dependa directamente de la velocidad y la calidad de la información transmitida.

La distancia de autonomía del robots estará restringida a la distancia máxima del enlace de comunicación sea por cable o radiofrecuencia.

Particularmente en ambientes cooperativos en donde se debe controlar más de un robot con el fin de realizar una tarea en común, es necesario contar con un punto central de coordinación de los robots. Sumado a que los robots deben ser lo mas económicos y simples posibles, todas estas características hacen conveniente el uso de un modelo centralizado de control.

Medio de transmisión de información

Establecer un buen enlace entre un robot y su controlador central es un factor crítico, aumentando cuanto mayor sea el grado de dependencia del controlador central. Para disminuir esta dependencia del enlace se debe dotar al robot de la mayor autonomía posible.

Normalmente se utilizan métodos de transmisión por radio frecuencia, en donde la información es modulada sobre una señal portadora transmitida por el emisor (computadora central), luego de lo cual el receptor (robot) demódula y decodifica la señal de manera de interpretar los datos enviados.

Esto implica utilizar un protocolo de transmisión de datos que garantice la transmisión de información y la correcta recepción de la misma. El método más simple es el "checksum" que en términos sencillos, representa un valor que es dado por la suma de los valores binarios (ASCII) de los caracteres enviados, al ser decodificados en el receptor es

calculado nuevamente y comparado con el enviado por el emisor, si no coincidieran significa que la información recibida no es correcta.

Tareas realizadas por el sistemas

Hasta este punto hemos analizado los principales aspectos en cuanto a la complejidad del hardware del robot, las tareas a realizar, y los diferentes sistemas utilizados.

Contamos ahora con una aproximación de los problemas a resolver por el software (inteligencia) del robot.

Como primer paso seleccionaremos un entorno controlado con robots de bajo costo.

El ambiente generado para las competencias de fútbol robot, el conjunto de sus reglas, la aparición de un equipo rival que escapa de nuestro control y todo esto dentro de un entorno controlado, lo hacen ideal para realizar investigaciones en robots cooperativos autónomos en donde se debe realizar el control de un grupo de robots realizando una tarea en común en contraposición con otro grupo de robots que buscan evitar que se cumpla dicha tarea.

De ahora en adelante el trabajo se centra en un **sistema robótico autónomo con inteligencia distribuida** diseñado para operar dentro del entorno de **fútbol robot**.

Dentro de este entorno y en base a lo expuesto anteriormente podemos destacar el siguiente conjunto de tareas a realizar:

Tareas realizadas por el robot

Sistema de locomoción:

- Controlar el sentido de giro de los motores
- Controlar la velocidad
- Controlar el posicionamiento

Sistema de alimentación:

- Control de las baterías

Sistemas de sensores:

- Sensor de contacto con la pelota
- Sensor de proximidad de obstáculos

Sistema de disparo:

- Dirección y el impulso del disparo.

Sistema de comunicación:

- Comunicación inalámbrica o infrarroja.

Tareas a realizar en controlador central

Sistema de comunicación

- Protocolo de comunicación inalámbrica

Sistema de Visión

- Digitalizar las imágenes del entorno
- Determinar los diferentes actores
- Calcular trayectorias de los objetos
- Analizar estrategia del adversario
- Determinar un plan de acción.
- Controlar de reglas de acción

III. Fútbol robot

El Entorno

La idea de “Robots que jugaran Fútbol” fue mencionada por primer vez por el profesor Alan Mackworth (University of British Columbia, Canada) en el año 1992. Su proyecto se denomino Dynamo y su objetivo fundamental consistía en el desarrollo de un ambiente flexible para experimentos con múltiples robots controlados por radio.

En este marco del proyecto, los robots en forma individual fueron capacitados para armar su plan de acción y llevarlo a cabo, sólo con el simple objetivo de hacer goles en el arco contrario y evitar que la pelota ingrese en el propio. Como experimento se realizaron competencias entre dos robots (uno contra uno).[12 - pg 11 - cap 2.3]

En la actualidad la idea inicial ha evolucionado en varias ligas de competencias internacionales (FIRA, ROBOCUP) y en una competencia a nivel nacional Campeonato Argentino de Fútbol de Robots, organizados por varias universidades argentinas . En estos campeonatos encontramos principalmente dos divisiones: simuladas y reales.

- Ambientes simulados, es una herramienta de software que permiten ensayar metodologías y algoritmos de control.
- Robot reales participan en general uno o mas robots por equipo, y pueden ser totalmente autónomos o con un modelo centralizado de control.

La reglas básicas del juego son tomadas de las competencias de fútbol reales con algunas adaptaciones por supuesto.

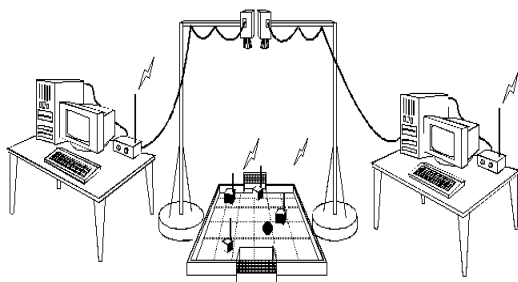
El objetivo de los equipo es lograr concretar la mayor cantidad de goles, que el adversario concrete la menor cantidad de ellos y al mismo tiempo respetar todo el conjunto de reglas.

Campo de juego de la categoría robot reales

Está compuesto por un rectángulo de madera color negro de 220cm x 180cm delimitado por paredes de color blanco de 5cm de altura por 2,5cm de espesor.

Dentro de este campo se encuentran delimitadas las diferentes áreas al igual que en una cancha de fútbol convencional.

Las condiciones de iluminación en el recinto de la competencia se debe fijar en aproximadamente 1.000 lux. Y por último se utiliza una pelota de golf naranja.



Entorno en el cual se realizan las competencias

Los Robots

Los robots varían según la categoría en la que participan, siendo estas definidas por la Federation International Robo-Soccer Association (FIRA). En el caso de la categoría MiroSot el tamaño de los robots es de 7,5 cm x 7,5 cm de ancho y 7,5 cm altura, dándose

libertad en el tipo de tracción utilizada y son teledirigidos por un computador central encargado también de realizar la digitalización de imágenes.

Descripción general del juego

Un partido consta de dos períodos de cinco minutos cada uno, con un intervalo entre ambos de 10 minutos. Un cronometrista oficial detiene el reloj cuando se realizan las sustituciones, cuando se debe retirar de la cancha un robot por averías, durante los tiempos muertos o ante otras situaciones en se considere necesario.

Después del intervalo (medio tiempo) un equipo puede pedir 5 minutos adicionales luego de lo cual sino pudiera continuar, el equipo es descalificado.

Cada equipo es identificado con un color (Azul o Amarillo).

Tareas a cumplir por el software

Interpretación del entorno

- Diferenciar objetos
- Reconocer el campo de juego
- Reconocer forma y colores

Control de Robot

- Controlar los movimientos de los robot, giro avance, velocidad.
- Controlar acciones especiales como patear pelota.

Comunicación

- Establecer un enlace de comunicación con el robot.
- Establecer un protocolo con una serie comando específico para cada robot.
- Realizar chequeo de la correcta transmisión de información recibida por el Robot.

Estrategia

- Establecer una estrategia del juego general
- Asignar roles específicos a cada robot según el análisis del juego
- Determinar la estrategia del oponente.
- Predecir los movimientos del adversario actuando en consecuencia.

Otros

Chequeo de las reglas del juego
Realizar jugadas preparadas
Chequeo de energía en los robot
Chequeo del correcto
funcionamiento de los robot

IV. El algoritmo

El Enfoque

Al abordar por primera vez el problema de la generación de un algoritmo capaz de solucionar todas las dificultades planteadas en el control de múltiples robot, surge de inmediato la idea de segmentar el problema con el objetivo de aplicar una metodología de agentes cooperativos (múltiples). Este planteo, como se comprobó en la realización de este trabajo, es muy común, como puede verse en la tesis realizada por Castelo R.Fassi, Flacio y E.Scarpettini (Castelo,2002) en donde se describen las líneas generales en el diseño del equipo UBASot de la UBA.

Alternativamente otro enfoque interesante surgido al analizar el trabajo de Thongchai, S; (Thongchai, at. al, 2000) es el de emplear técnicas de “fuzzy control” como base para la toma de decisiones.

A la hora de diseñar el software podemos partir de dos enfoques diferentes:

- Diseñarlo basándonos en el simulador proporcionado por la FIRA que cuenta con varias categorías simuladas en donde compiten dos equipos (programas) entre sí.
- Realizar o adquirir un sistema completo de control con robots reales y desarrollar el software.

En líneas generales la problemática en ambos casos es muy similar. Esto es así porque el modelo simulado fue diseñado expresamente para representar el modelo cinemático de los robots reales y su entorno.

Parece obvio también la necesidad de utilizar técnicas de inteligencia artificial, modelos de agentes, o por lo menos programación orientado a objetos, pero también existen otras

formas de resolver este problema, como es el caso de encararlo con una aproximación más directa basada en metas.

Al basarse en metas se centraliza todo el desarrollo en la resolución de problemas puntuales y próximos en el tiempo, expresándolo en términos del simulador, a un ciclo de distancia. Un ejemplo es predecir el movimiento de la pelota en la siguiente lectura de datos y actuar en consecuencia.

V. Agentes

Definición

La mayoría de los trabajos publicados coinciden en la dificultad de definir que es un “agente” y aun mas si se pretende definir un “agente inteligente” pues se empieza a cuestionar la definición de inteligencia y racionalidad aplicada a los robots. Evidencia de ello es la falta de una definición estándar aceptada por toda la comunidad científica (Russell et. al):

Un agente es todo aquello que puede considerarse que percibe su ambiente mediante sensores y que responde o actúa en tal ambiente por medio de efectores. Los agentes humanos tienen ojos, oídos y otros órganos que les sirven de sensores, así como manos, piernas, boca y otras partes de su cuerpo que les sirven de efectores. En el caso de los agentes robóticos, los sensores son sustituidos por cámaras y telémetros infrarrojo, y los efectores son reemplazados mediante motores. En el caso de un agente de software, sus percepciones y acciones vienen a ser cadenas de bits codificados.

De por si esta definición es muy amplia y agrupa también una cantidad de sistemas y programas que no deberían ser considerados agentes, pero nos sirve para tener una idea general de tema.

Otra definición que es interesante destacar

por estar orientada al software (Amandi, 2001).

Básicamente, un agente es una entidad de software que exhibe un comportamiento autónomo y un sistema multi-agente es un conjunto de agentes que tienen la capacidad de interactuar en un entorno común. Así, agentes en un entorno con otros agentes poseen capacidades como la comunicación, negociación y coordinación. Características que podemos considerar opcionales son encontradas en varios tipos de agentes, como la movilidad y la necesidad de interacción con usuarios y el consiguiente aprendizaje de su comportamiento.

De hecho la mayoría de los agentes actúan dentro de un entorno, percibiéndolo, actuando de manera autónoma en función de esta percepción, para luego midiendo su desempeño evaluar si ha logrado alcanzar la meta propuesta. Por consiguiente un agente aislado no tendría mucho sentido y más si consideramos a los humanos dentro de este grupo de agentes, podemos obtener como conclusión que siempre existe por lo menos dos agentes que pueden comunicarse ya sea de manera fluida o espaciada.

La comunicación entre agentes se realiza por medio de un lenguaje de comunicación de agentes (ACL --- Agent Communication Language) (Botti, 2000)

Para finalizar daremos una lista de los atributos generales con los que debe contar un agente y luego las diferencias principales entre objetos y agentes (Glores-Mendez, 2000).

Características de los Agentes

- **Adaptación:** Capacidad de aprender y mejorar con la experiencia.
- **Autonomía:** Dirigidos por el objetivo, preactivos y con un comportamiento propio.
- **Comportamiento colaborador:** la habilidad de trabajar con otros agentes para conseguir un objetivo común.

- **Capacidad de inferencia:** la habilidad de actuar con especificaciones abstractas.
- **Habilidad de comunicación a nivel de conocimiento:** la habilidad de comunicarse con otros agentes con un lenguaje más parecido a los actos de comunicación humanos que a la típica comunicación a nivel de símbolos de los protocolos entre programas.
- **Personalidad:** la habilidad de manifestar atributos de un comportamiento humano creíble.
- **Reactividad:** la habilidad de sentir y actuar de una forma selectiva.
- **Continuidad temporal:** persistencia de la identidad y del estado durante largos periodos de tiempo.

A pesar de todo, se ha establecido que los agentes no pueden estar caracterizados solamente por sus atributos; necesitan ser clasificados basados en como estos atributos son percibidos por los humanos. Se puede clasificar, de forma simple, por la manera de predecir el comportamiento, según tres puntos de vista:

- **Punto de vista físico:** las predicciones están basadas en características y leyes físicas.
- **Punto de vista de diseño:** las predicciones están basadas en lo que el sistema esta diseñado para hacer.
- **Punto de vista intencional:** las predicciones están basadas en asunciones de una agencia racional (creencias, intenciones, deseos).

Objetos versus Agentes

En muchos sentidos la programación orientada a agentes es un paradigma de la programación orientada a objetos, en el primero un sistema está constituido por objetos que se relacionan entre sí, en el segundo caso lo está por agentes que tienen características propias destacándose la autonomía. La comunicación entre ellos se logra mediante un lenguaje estándar de comunicación entre

agentes.

Los objetos invocan métodos para la toma de decisiones, en los agentes la decisión recae en el agente que recibe la petición.

Cada agente tiene su propio algoritmo de toma de decisiones, en el modelo de objetos tradicional, hay un único flujo de control para todo el sistema (Glores-Mendez ,2000).

VI. Estrategia y control de robots móviles

Comportamiento

Podemos diferenciar básicamente en dos tipos de comportamiento para agentes uno básico a nivel de robot y otro a nivel de grupo.

Como cada agente debe realizar una tarea se contara con tantos agentes como tareas de especialización sean necesarias. Por ejemplo un agente o conjunto de ellos encargado de controlar el sistema de visión, otro de la validación de reglas, otro del análisis del adversario, etc.

Se debe establecer un sólido sistema de comunicación entre agentes para evitar tanto el problema de superposición de tareas, como una entradas en loop por espera de respuestas. Es importante también lograr la menor dependencia entre ellos, con el objetivo de conseguir una mayor velocidad de respuesta.

Si expresamos las secuencias de comportamiento del agente como un simple diagrama de estados temporales en donde para pasar del **E1**(estado 1) al **E2** se deben cumplir las condiciones establecida por la variable **X** (sensores) una vez cumplida esta condición, permanecerá en el estado **E2** mientras espera el valor de **X'** . Este es un sistema clásico de estímulo respuesta, algo muy práctico para aplicar en este sentido, es establecer un criterio alternativo para el cambio de estados, pues estableciendo una leve desviación del comportamiento estándar podremos lograr un mayor rapidez de respuesta ante posibles errores, forzando un salto a **E1**.

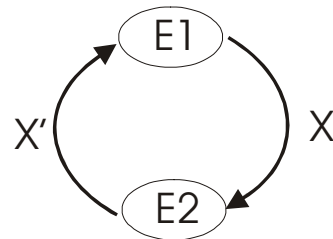


Diagrama de estados normal

Para expresarlo mas claramente se plantea el siguiente ejemplo: Se quiere desplazar el robot desde el centro del campo hasta el área rival, al recibir la orden de inicio el robot comienza a desplazarse hacia el área rival, continua desplazándose hasta encontrar una línea blanca que corresponda con los límites del área chica en el arco contrario.

En condiciones ideales esto sería muy aceptable, pero en el mundo real se cuentan con imprevistos, como encontrar obstáculos en su camino (otro robot), quedarse sin baterías , problemas en la tracción, etc. La solución es contar con condiciones alternativas **X''** y que el mismo agente o un agente externo se encargue de chequear y de forzar estos saltos, que pueden estar dados por errores o tiempos de espera excesivos.

Expresándolo simbólicamente, si dado un intervalo de tiempo, no se pudo cumplir la tareas **E2** (debido a que no se recibe el estímulo **X'**) entonces se debe volver al estado **E1** este estado puede ser de reposo , reset del sistema, o volver a posicionarse en el centro del campo. Al volver al estado **E1** por la condición **X''** se tendrá que optar por repetir la tarea o seguir con otra que le sea asignada.

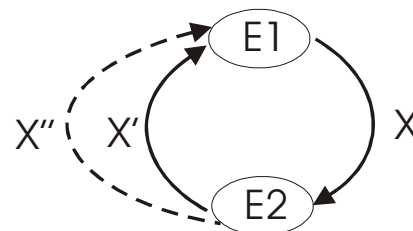


Diagrama estados alternativo

Cada robot posee marcas visuales en código binario que sirven para identificarlo y en muchos casos saber el sentido de circulación del mismo, no en todos ellos esto es posible,

pues se dificulta en los equipos rivales debido a que las posiciones de estas marcas no se encuentran reglamentadas con respecto al sentido de circulación.

Las otras referencias a tener en cuenta definen el campo de juego y la pelota.

El control de tracción es del tipo diferencial en donde cada rueda tiene su propio motor, por consiguiente para avanzar en línea recta se debe accionar las ruedas en forma conjunta con igual cantidad de pasos y a la misma velocidad. Cualquier diferencia en velocidad o en sentido de giro de una de las ruedas con respecto a la otra, producirá una curva equivalente al giro del robot.

Reconocimiento de imágenes

Una formas de abordar el reconocimiento de imágenes es contar con un sistema multiagentes con un algoritmo de captura y predicción en base a marcas visuales para un grupo homogéneo de agentes (Velooso , 1998). Se uso un Extended Kalman filter (EKF), el cual resulto muy bueno en la detección de la pelota.

El EKF es un estimador recursivo para un sistema no lineal. En este se realizan dos procesos interactivos llamados actualización y propagación.

Se calcula para un estado dado la mejor estimación en la detección de la imagen según las variables elegidas para definir al objeto (alto, ancho, color, etc) y se obtiene el error expresado según la covarianza en cada iteración. Durante la actualización, la actual observación es utilizada para refinar la nueva estimación y recomputar la covarianza.

Los agentes simples deben poseer la capacidad de navegar por cualquier área del campo, la capacidad de impulsar la pelota en determinada dirección, interceptar la pelota y bloquear a los oponentes sin cometer faltas.

Para poder interceptar la pelota se debe poder predecir el movimiento de la misma partiendo de precondiciones y mediante un comportamiento acorde.

Básicamente se parte de un estado X con un conjunto de precondiciones establecidas

obtenidas de un análisis del entorno y en base a la estrategia o el rol que ha asumido el agente, se definirá el comportamiento necesario para alcanzar su meta.

Modelo de control

Existen dos tipo elementales de modelo de control, el reactivo y el deliberativo (Laplagne, 2002).

El control **reactivo** es una técnica basada en una asociación estrecha entre los estímulos obtenidos de los sensores, y las acciones disparadas sobre los efectores. Este tipo de control permite responder de manera muy veloz a entornos cambiantes y sin una estructura definida. Se puede pensar este tipo de control como “estímulo-respuesta”. Este es un método de control muy poderoso, muchos animales son mayormente reactivos. Las limitaciones de este enfoque son que este tipo de robots, al solo buscar acciones para un estímulo dado, suelen no almacenar información, no tienen memoria, ni representaciones internas del entorno, ni habilidad de aprender con el tiempo.

En el control **deliberativo**, el robot toma toda la información sensorial disponible y todo el conocimiento que tiene almacenado internamente, y razona en base a ellos para crear un plan de acción. Para esto, el robot debe realizar una búsqueda sobre (potencialmente) todos los planes posibles hasta encontrar uno que sea útil. Esto requiere que el robot piense a futuro, en términos de “si hago esto, y luego ocurre esto, que pasaría si yo hago entonces esto...” y así sucesivamente.

Eso puede llevar mucho tiempo, razón por la cual si el robot debe reaccionar velozmente, puede no ser práctico.

VII. Conclusión final

A lo largo de este trabajo hemos podido observar que existen una gran cantidad de tareas a completar, que al agruparlas es posible dar origen a pequeños subsistemas dentro del sistemas principal, y al separarlos

dentro de estos subsistemas, asignarlos a diferentes agentes. Es el caso del reconocimiento de imágenes que puede realizarse perfectamente en forma paralela (al mismo tiempo), o también las tareas referentes al control de los robots, entre otras.

Si tomamos el conjunto de tareas a realizar por el controlador central y los otros integrantes del sistema es necesario contar con uno o varios algoritmos capaces de realizar todas las tareas.

Se puede realizar con un único programa central y con cero autonomía en los robots, o con la utilización de agentes inteligentes encargados de realizar individualmente cada tarea con un agente central encargado de la coordinación de todos los agentes con el objetivo de garantizar la interacción entre ellos.

La utilización de esta metodología tiene la ventaja de tener un mejor manejo de cada tarea al poder aislarla del resto, permitiendo así asignarlas a diferentes agentes. Otra ventaja es poder intercambiar agentes que empleen diferentes técnicas de resolución para la misma tarea, el sistema posee una gran libertad de escalamiento, tan grande como las tareas a realizar, pues solo se tiene que agregar un nuevo agente que cumpla la nueva tarea integrándose con el resto (siempre respetando los límites del hardware).

Con toda la información brindada con respecto a la construcción de robot y sus características queda demostrado que si bien parece compleja la idea de construir una plataforma robótica para investigación (fútbol de robot), en realidad no lo es tanto, que solo se requiere de esfuerzo y que en cuanto al hardware tenemos muchas cosas ya resueltas por no decir todo.

En cuanto a la escalabilidad observamos algunos ejemplos de como partiendo de un diseño sencillo en entornos controlados podemos llegar a robots sofisticados en entornos reales capaces de realizar tareas complejas como es el caso de los robots exploradores planetarios.

Referencias

UBASot - CHEBOT y KHEPERA (Robot de fútbol desarrollado) - Grupo de Inteligencia Computacional aplicada a Robótica Cooperativa <http://www.dc.uba.ar>

NASA - PathFinder y Rovers - Robots de exploración del planeta Marte <http://marsprogram.jpl.nasa.gov>

NASA (NAI) - SnakeBot (Robot del tipo serpiente) <http://nai.arc.nasa.gov> <http://astrobiologia.astroseti.org>

Honda - ASIMO (Robot bípedo del tipo humanoide) <http://world.honda.com/ASIMO>

Aerovironment California -High-Altitude Solar-Electric Airplanes (Robot de comunicaciones tipo planeador autopropulsado) <http://www.aerovironment.com>

FIRA Federation International Robo-Soccer Association - RobotSot (Robots autónomos) <http://www.fira.net>

Castelo, Claudia C. R.Fassi, Héctor, E.Scarpettini,Flacio. Revisión del Estado del Arte y Desarrollo del Equipo [tesis]. Buenos Aires: Departamento de Computación Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires: Diciembre 2002 . 1 – 396 pg.

Russell, Stuart J. y Norving , Peter . Agentes Inteligentes Capitulo 2 .Inteligencia artificial un enfoque moderno. Naucalpan de Juárez, Edo de México: Prentice may Hispanoamericana, S.A. 1996. p. 33-53

Amandi, Analía (email:amandi@exa.unicen.edu.ar). ISISTAN Research Institute, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Pcia. De Buenos Aires Campus Paraje Arroyo Seco . (B7001BB0) Tandil . Bs As. Argentina. Desarrollo de Sistemas Multi_Agentes Inteligencia Artificial. Revisa Iberoamericana de Inteligencia Artificial N° 13 (2001), pp33-35 ISSN: 1137- 3601 ©AEPIA Disponible en: <http://aepia.dsic.upv.es>

V.Botti, V.Julián, Dpto. Sistemas Informáticos y Computación Universidad Politécnica de Valencia {vbotti, vinglada}@dsic.upv.es “Agentes Inteligentes: el siguiente paso en la inteligencia Artificial”– pag. 95 - NOVATICA /may –jun 2000/ Especial 25 Aniversario – Edición digital / © ATI 2000 95

Technische Universitat München - MARVIN (Robot móvil con visión estereoscópica) <http://www.rcs.ei.tum.de>

Santos, Juan Miguel, Scolnik Hugo Daniel, Ignacio Daicz Laplagne, Sergio, Scarpettini Flavio, Fassi Héctor, Castelo Claudia. Uba-Sot: An approach for control and team strategy in Robot Soccer. Departameto de Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires .

Kwub Han, Manuela Veloso. Reactive Visual Control of Múltiple Non-Holonomic Robotic Agents – Computer Science Depatament, Carnegie Mellon University Pittsburgh, PA 15213. Proceeding of the 1998 IEEE International Conference on Robotic & Automation Leuven, Belium, May 1998 .

Keigo Watanabe (watanabe@me.saga-u.ac.jp) . Control of an Omnidirectional Mobile Robot. Proceeding: Second International Conference on Knowledge- Based Intelligent Electronic Systems, 21-23 April 1998, Adelaide, Australia, Editors, L.C.Jain and R.K.Jain . Department of Mechanical Engineering Faculty of Science and Engineering Saga University.

Laplagne Ignacio Eduardo. Aspectos de estrategia y control en un equipo de fútbol de robots [tesis]. Buenos Aires: Departamento de Computación Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires, Diciembre de 2002

Glores-Mendez Roberto A. Traducido por Jordi Cabot. Hacia una estandarización de los marcos de trabajo para Sistemas Multi-Agentes – ACM Crossroads Student Magazín: ast Modified: Monday 17-Apr-00 09:29:49 Location: <http://www.acm.org> ©Copyright 2000-2001 by ACM, Inc.

Byoung-Ju Lee, Sung-Oh and Gwi-Tae Park. Trajectory Generation and Motion Tracking Control for the Robot Soccer Game . Department of Electrical Engineering, Korea University Proceeding of the 1999 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems

O.T.R.I (Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación) Universidad de Sevilla España. Robot de investigación con 6 sonares. <http://www.otri.us.es>

Thongchai, S; Suksakulchai, S; Wilkes, DM; Sarkar, N “Sonar behavior-based fuzzy control for a **mobile robot** “ PROC IEEE INT CONF SYST MAN CYBERN. Vol. 5, pp. 3532-3537. 2000.

Nota: La versión extendida de este trabajo puede bajarse de <http://www.RobotIA.com.ar>