

ROBÓTICA COLECTIVA: TENDENCIA EN EL ENFOQUE DE DISEÑO

Collective Robotics: Tendency In The Focus Gives Design

M.Sc. Yohoni Cuenca S.

yohoni@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo describe la tendencia y enfoque de las arquitecturas de control para sistemas multi-robots, una arquitectura presenta un enfoque o filosofía de construcción que establece la lógica de control para un sistema multi-robot, bajo este contexto el enfoque biológico muestra un mayor asentamiento desde los años 80, así se plantea tres razones entre otras que justifican la tendencia hacia el modelo biológico en el diseño de sistemas multi-robots.

Palabras clave:

Robótica Colectiva, Sistemas multi-robots, arquitecturas de control, etología, robots autónomos, robots homogéneos y heterogéneos, control central y distribuido.

ABSTRACT

The present work describes the tendency and focus gives the control architectures for multi-robots systems, an architecture presents a focus or philosophy gives construction that establishes the control logic for a multi-robot systems, under this context the focus biological sample a bigger establishment from the years 80, so we shows three reasons among others that justify the tendency toward the biological pattern in the design of multi-robots systems.

keywords:

Collective robotics, Sistemas multi-robots systems, architectures give control, etology, autonomous robots, homogeneous and heterogeneous robots, central and distributed control.

INTRODUCCIÓN

Varios trabajos han demostrado el potencial de sistemas multi-robot al momento de efectuar una tarea en particular, por ejemplo Arkin y Balch (1993) trabajan con sistemas robóticos basados en comportamiento, Kube (1997), Cao y Fukunaga (1997). demuestra trabajo colectivo sin comunicación, Asama y Matsumoto (1984) definen una arquitectura para sistemas multi-robot heterogéneos, Balch y Arkin (1994), experimentan con la comunicación en sistemas reactivos, Cuenca (2010), emula el comportamientos de banco de peces para formar una estrategia de juego en la RoboCup.

Ciertas tareas pueden ser complicadas si es ejecutada por un sólo robot, así existen tareas que por su configuración serian mejor ejecutadas por un sistema multi-robot. En este contexto el problema central de la robótica colectiva es como construir alcanzar al objetivo o cumplir con la tarea a partir de la interacción entre los sistemas robóticos. Al respecto se analizara las modelos que apoyan el enfoque de diseño en sistemas multi-robot, con tendencia al modelo biológico.

ENFOQUE DE LA SOCIEDAD HUMANA

Uno de los modelos sociales más complejos es la de los seres humanos, el elemento central de esta complejidad es el cerebro, desde el punto de vista de la teoría de la mente Pirayu y Pérez (2007), el cerebro es una maquina predictiva que puede anticipar eventos y esperar los posibles resultados o construir las premisas iniciales que conducirán al resultado esperado. Una persona puede deducir el pensamiento, estado de ánimo, necesidad, y la acción que será deliberada por otra persona con sólo ver su expresión facial y su comportamiento en el entorno. Esto muestra que la sociedad humana no sólo considera un lenguaje de

comunicación explícita, sino varios niveles de comunicación centrados en la visión. Los procesos predictivos de la mente simplifican aun más esta comunicación implícita.

Una aproximación a estos procesos mentales puede verse en el campo de la Inteligencia Artificial Simbólica Russell y Norvig (1999) o tradicional, donde procesos de inferencia y lógica son implementados en programas que emulan procesos mentales de inferencia.

ENFOQUE DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL DISTRIBUIDA

En la inteligencia artificial distribuida se orienta al estudio de sistemas distribuidos de agentes inteligentes, en estas condiciones es relevante su aporte a la robótica colectiva. En este contexto puede verse dos campos de estudio Cao y Fukunaga (1997):

Solución de problemas distribuidos DPS.

Considera un conjunto de agentes para la solución de un problema, un agente puede apoyar de manera independiente en la solución de un subproblema, así comunicándose con otros agentes puede intercambiar las respuestas o finalmente integrar la solución al problema global planteado al conjunto de agentes. Este proceso considera tres etapas: descomposición del problema, solución del subproblema y síntesis de la solución. Estas etapas involucran un estudio profundo sobre: ¿Cómo descomponer el problema? Y ¿Cómo asignar a un agente una parte del problema a resolverse?

Sistema Multi-Agente. MAS

Las investigaciones apuntan al estudio del comportamiento colectivo de un grupo de agentes, ¿Cómo deberían organizarse para la solución del problema, de tal forma que a partir de objetivos individuales se

converja al objetivo global?. En este contexto se sugiere considerar mecanismos que permita la auto organización de manera similar a sus pares biológicos.

Así esta área ha proporcionado modelos sociales de interacción a las investigaciones en la robótica colectiva. A pesar de que la Inteligencia Artificial Distribuida y la Robótica Colectiva apuntan a los mismos objetivos "reproducir mecanismos de auto organización en sus sociedades", el entorno de experimentación y modelación difiere en ambos: en la Inteligencia artificial las soluciones y modelos son más abstractos y son experimentados en la computadora, en cambio en la robótica colectiva las soluciones deben apuntar a un entorno físico que es dinámico y ambiguo, para un agente la percepción de su entorno virtual es exacto libre de ambigüedades en cambio para un robot la percepción del mundo es complicada por la limitación de los propios sensores ya que estos no registran con exactitud la información del entorno, además también son sensibles a los ruidos del entorno que distorsionan la lectura de datos.

ENFOQUE DE SISTEMAS DISTRIBUIDOS

Los sistemas distribuidos son una fuente de ideas y soluciones Cao y Fukunaga (1997) para la implementación de sistemas multi-robots. En la computación distribuida sobre la base de unidades de cómputo (procesadores), se analiza y estudia los modelos de operación que permitan coordinar las acciones de cada una de estas unidades a fin de evitar colisiones, saturaciones y monopolización de recursos (memoria, espacio en disco). Una tarea consume un tiempo "t" para su ejecución, ahora considerando "n" procesadores y una planificación de tarea conjunto de los procesadores se puede acelerar este trabajo.

Así los temas de cooperación y planificación de tareas también están inmersos en este campo.

ENFOQUE BIOLÓGICO

Con la revolución cibernética de los 40 Arkin (1995) emergen una serie de trabajos basados en vehículos móviles (robots) que responden de manera autónoma a los estímulos de su entorno, básicas conexiones entre sensores y efectores en el sistema de control reproducen comportamientos ordenados y definidos en un vehículo móvil, así por ejemplo: Walter (1953), construye un robot móvil autónomo denotado como la máquina "Speculatrix", que era capaz de emular comportamientos de fototropismo positivo y fototropismo negativo de manera similar a sus pares biológicos, este trabajo mostró como máquinas dotadas de simples conexiones entre sus sensores y el sistema de locomoción pueden reproducir un comportamiento complejo que responde a la configuración luminosa del ambiente. Braitenberg (1995) muestra una serie de experimentos basado en una psicología sintética, los elementos centrales de su experimentación son los "vehículos" (máquinas móviles) que emulan emociones como Timidez, perseverancia, despistado y otros, los vehículos tienen una configuración simple, y todo comportamiento se enfoca a una fuente de luz. Brooks (1986) define la arquitectura de Subsumption que marca de manera formal una brecha entre la clásica inteligencia artificial (simbólica) y una nueva inteligencia basada en comportamiento, subsumption describe una organización por capas de manera horizontal, así una capa es un comportamiento que es liberado en función a prioridades asignadas a cada capa. Trabajos posteriores como la de Mataric (1994), muestra la emulación de comportamientos centrales como evasión de obstáculos, seguimiento o formación, dispersión, agregación y retorno al punto de partida a partir de sistemas

estrictamente reactivos, la base de estos comportamientos la define como la emulación de taxias de manera similar a sus pares biológicos. Ronald Arkin establece su modelo "esquemas motores", para el control de sistemas multi-robot basado bajo una filosofía reactiva. Kube (1997) demuestra que se puede generar un comportamiento colectivo sin comunicación, en sus experimentos muestra como se múltiples robots logran mover una caja de un punto a otro.

Todos estos trabajos operan bajo un enfoque reactivo y resaltan la filosofía: "a partir de la interacción de sistemas robóticos que responde a simples reglas de estímulo respuesta se puede reproducir un comportamiento global, ordenado y estructurado que responde al objetivo global del sistema", este comportamiento global resultante es una nueva forma de inteligencia donde el cerebro no es lo más importante.

ARQUITECTURAS DE CONTROL

Los elementos centrales de un sistema robótico son: sistema sensorial, sistema de locomoción y la arquitectura de control.

Una arquitectura de control define el mecanismo central que establece las acciones del sistema robótico para interactuar con otros sistemas robóticos y en mismo entorno, la arquitectura de control debe permitir establecer la lógica de control para organizar varios robots de tal forma que puedan ejecutar una tarea de manera cooperativa.

Entre las principales arquitecturas de control para sistemas multi-robots se tiene:

CEBOT (Robótica celular)

Cada unidad robótica es una célula, que puede reconfigurar la estructura del sistema multi-robot en función a las

características y exigencias del medio ambiente. El sistema de control se basa en una jerarquía centralizada, donde cada célula maestra tiene a su cargo la ejecución de una tarea con un grupo de robots. En un segundo nivel las células maestras pueden comunicarse para formar grupos mayores formando estructuras más complejas y formadas por un mayor número de sistemas robóticos. Esta filosofía de trabajo nace con la emulación del comportamiento de células biológicas, así en la biología puede verse que la integración de células forman estructuras mayores.

ACCTRESS

Asama y Matsumoto (1984), define una arquitectura para sistemas multi-robot, los elementos centrales en esta arquitectura lo forman los "robotores", donde un robotor no necesariamente hace referencia a un robot, así un robotor puede ser una computadora o cualquier dispositivo con capacidad de cómputo, en este contexto se tiene varias máquinas con capacidades diferentes que coordinan sus acciones para operar de manera cooperativa. En la arquitectura el elemento que permite la coordinación entre cada robotor es la comunicación. Los medios de comunicación considerados son similares a las redes de computadoras como ser: comunicación alámbrica, comunicación inalámbrica, rayos infrarrojos y radio frecuencia. De esta manera se define un protocolo de comunicación organizado por áreas: información correspondiente al estado de las unidades robóticas, estado de avance de las sub tareas y objetivos cumplidos y nuevos objetivos a ejecutarse para el cumplimiento del objetivo global.

SWARM

Resulta de los trabajos realizados en CEBOT con una tendencia etológica, las unidades robóticas son homogéneas, cada

una tiene las mismas capacidades de operación, la comunicación no es vital en este contexto, se ha demostrado que se puede ejecutar tareas de carácter colectivo sin comunicación. El sistema es altamente robusto y escalable. No hay hasta la fecha un modelo que permita generar el comportamiento deseado a partir de la interacción de las unidades robóticas pero si ha logrado emular comportamientos de base: agrupación, formación, exploración: La filosofía de construcción considera la emulación de enjambres biológicos, donde el comportamiento de una unidad biológica está en función de sus vecinos más próximos y de los estímulos percibidos en el entorno de trabajo.

GOFER

La arquitectura considera una técnica de la inteligencia artificial distribuida: solución de un problema distribuido (DPS). En GOFER se analiza y se planifica la tarea central a ejecutarse transmitiéndose a todos los robots sobre el estado de la tarea y la disponibilidad de los mismos para la ejecución de las tareas. De esta manera GOFER muestra módulos de planificación y análisis de objetivos que son apoyadas por técnicas o procedimientos de la clásica inteligencia artificial (simbólica). En GOFER como se observa la comunicación es vital para la interacción de cada unidad robótica, como también para la formulación de tareas cooperativas.

Alliance/L-Alliance

Alliance, desarrollado por Parker (1998), es una arquitectura para sistemas robóticos heterogéneos, las unidades robóticas están basadas en comportamiento, particularmente trabaja con la arquitectura de Subsumption de Brooks (1986), al cual le agrega comportamientos y un medio de comunicación. L-Alliance es una extensión de Alliance en la que se

considera el aprendizaje por reforzamiento para ajustar los parámetros de control en la ejecución de los comportamientos que apuntaran al objetivo global del sistema multi-robot. Alliance / L-Alliance han sido experimentados tanto en simuladores como en robots físicos, donde se ha visto la formación de comportamientos como: empujar cajas colectivamente y formación.

Comportamiento cooperativo basado en comportamientos

Mataric (1994) muestra la emulación de comportamientos centrales como evasión de obstáculos, seguimiento o formación, dispersión, agregación y retorno al punto de partida a partir de sistemas estrictamente reactivos. Estos comportamientos se reproducen a partir de la interacción de módulos de comportamiento basadas en reglas básicas, este nuevo comportamiento tiene una estructura que converge al objetivo global del grupo. La base de formación en estos comportamientos deriva de comportamientos similares a taxias.

TENDENCIAS EN EL DISEÑO

Desde los años 80, emergen los trabajos en sistemas multi-robots como se ha podido observar se han definido varias arquitecturas de control cuya complejidad y exigencia de recursos varía en función a la tarea a realizarse y a la filosofía de trabajo. De las cuales el enfoque basado en comportamientos con fuente en la biología forma temas de más estudio y experimentación, varios son los factores que apuntan a esta tendencia, de las cuales se argumenta tres razones para este efecto:

Factibilidad en la emulación de sistemas reactivos

Una de las razones apunta a la factibilidad de emular sistemas biológicos cuyo

comportamiento es completamente reactivo, (conexiones directas entre los estímulos y respuesta, sentidos y locomoción) análogamente la emulación de sistemas reactivos es posible en términos físicos y lógicos (se definen las conexiones entre sensores y efectores), pero el tema de sensores y sentidos como también del sistema de locomoción y efectores es otra discusión que evidentemente influye en la emulación.

Variedad de modelos biológicos con similares capacidades

Un segundo aspecto es que en la naturaleza existen una variedad de insectos con múltiples capacidades y microorganismo que poseen un sistema nervios simple (conexiones directas estímulo respuesta) o en otros casos carecen de cerebro y se las arreglan perfectamente para sobrevivir en el mundo. ¿Cómo lo hacen?. Sobrevivir en un mundo tan dinámico y cumplir mínimamente con las tareas: alimentarse, proteger su integridad de los depredadores, reproducirse y trabajar en equipo, son tareas muy complejas.

Posibilidad de formación de comportamientos de segundo nivel

Un tercer aspecto, es que los sistemas estrictamente reactivos son la base para la formación de comportamientos en un segundo nivel: instinto y aprendizaje (sobre la base de estructuras reactivas), de los cuales no se tiene ningún trabajo reportado hasta la fecha.

El instinto maternal o al menos una aproximación ya se observa en algunos insectos ¿Cómo logro obtener este comportamiento con su configuración estrictamente reactiva?. Desde el punto de vista de la etología: la complejidad de un comportamiento como también la de sus capacidades está en función a la

complejidad de las conexiones nerviosas, así puede verse los comportamientos: reflejos, taxias, instintos, aprendiza y razonamiento. La mayoría de los insectos operan solo con los dos primeros comportamientos. El instinto y aprendizaje se muestra comúnmente en formas de vida más compleja: peces, aves, mamíferos.

Trabajos como Arkin y Mackenzie (1994) indican que una solución en términos estrictamente reactivos no solucionan todos los problemas ni tampoco una solución estrictamente deliberativa, es necesario considerar arquitecturas híbridas que puedan cubrir mejor la solución, esto muestra como las arquitectura mencionadas consideran la IA simbólica y la IA basada en comportamientos.

Pero también es importante considerar que si bien es posible emular una estructura reactiva física y lógicamente, no es posible alcanzar la precisión de los sentidos (sensores) y sistema motriz (efectores) de un organismo cuyo comportamiento es estrictamente reactivo. Al menos con los avances tecnológicos actuales solo se pueden hacer aproximaciones.

CONCLUSIONES

Existe una tendencia en el diseño de sistemas multi-robos y apunta a la biología, específicamente al área de la etología, las razones apuntan a la factibilidad de implementación en términos físico y lógicos, a los alcances de sistemas biológicos con un comportamiento estrictamente reactivo y la posibilidad de generar comportamientos de segundo nivel: instinto y aprendizaje (basado en estructuras reactivas).

Los organismos sociales: insectos cuyo comportamiento es estrictamente reactivo tienen reglas básicas para trabajar en equipo y apoyarse mutuamente, estas reglas son de carácter estímulo respuesta,

y por tanto aplicables a sistemas robóticos reactivos, los resultados son similares: se reproduce un comportamiento complejo, estructurado y bien definido que apunta al objetivo global del grupo. Este mecanismo de formación solo requiere definir básicas reglas de reacciones en el entorno o con sus mismos vecinos (otros robots), de esta manera cada unidad robótica solo requiere de reglas básicas de interacción y en

algunos casos la comunicación no es vital para el cumplimiento de la tarea.

Los trabajos en sistemas reactivos no terminan con la definición de conexiones estímulo respuesta, la tarea central es como establecer estas conexiones y como la complejidad de estas conexiones pueden moldear el comportamiento global.

Symposium on Robotics and Manufacturing, Maui, HI, pp. 8-12, August 1984.

Akin R. C. (1995) *Reactive Robotics Systems*, College of Computing, Georgia Tech, Atlanta, 1995

Asama H., Matsumoto A. (1984) Design an autonomous and distributed robot system

ACTRESS: International Workshop on Intelligent Robot and System, Japan, 1984

Balch T., Akin R. C. (1994) Communication in Reactive Intelligent Robot System, Autonomous Robot, 1994

Brandenburg V. (1995) *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*, Cambridge, MIT Press, 1995

Brooks R. A. (1990) A Robust Layered Control System for a Mobile Robot, IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. 6, No. 1, March, pp. 14-23, also MIT AI Memo

Cao Yun Y., Furuta A. (1997) *Cooperative Mobile Robots, Antennas and Directions*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997

Cuencas Y. (2010) *Estrategias de juego en robots autónomos: un enfoque de sistemas de control de redes de sensores*, M.Sc. Thesis, Universidad Mayor de San Andrés, 2010

Wolter G. (1993) *The Living Brain*, editor, Norton, Universidad de California, 1993

Kube R. (1997) *Collective Robotics: From Local Perception to Global Action*, PhD Thesis, Universidad of Alberta, Canada, 1997

Mataric M. J. (1994) *Interaction and Intelligent Behavior*, PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1994

Parker L. (1998) *ALLIANCE: An Architecture for Fault Tolerant Multi-robot Cooperation*, Center of Engineering System Advanced Research, 1998

Pérez J., Pérez G. (2007) ¿Qué es la mente de la mente? *Revista de Neurología*, 2007

Russell S. J., Norvig P. (1998) *Intelligence Artificial: un enfoque moderno*, Prentice Hall Hispanoamericana S.A. 1998

BIBLIOGRAFIA

- Arkin R. C., Balch T. (1993). *Communication of Behavioral State in Multi-agent Retrieval Task*, Georgia Institute of Technology, 1993.
- Arkin R. C., Mackenzie D. C. (1994). *Planning to Behave: A Hybrid Deliberative/Reactive Robot Control Architecture for Mobile Manipulation*, Proc. International Symposium on Robotics and Manufacturing, Maui, HI, pp. 5-12, August 1994.
- Arkin R. C. (1995). *Reactive Robotics Systems*, College of Computing, Georgia Tech, Atlanta, 1995.
- Asama H., Matsumoto A. (1984). *Design an autonomous and distributed robot system: ACTRESS*, International Workshop on Intelligent Robot and System, Japan, 1984.
- Balch T., Arkin R. C. (1994). *Communication in Reactive Multiagent Robotic System*, Autonomous Robot, 1994.
- Braitenberg V. (1995). *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*, Cambridge, MIT Press, 1995.
- Brooks R. A. (1986). *A Robust Layered Control System for a Mobile Robot*, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 2, No. 1, March, pp. 14-23; also MIT AI Memo 864, September 1986.
- Cao Uny Y., Fukunaga A. (1997). *Cooperative Movable Robotics, Antecedents and Directions*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997.
- Cuenca Y. (2010). *Estrategias de juego en robots autónomos inspiradas en comportamientos reactivos de bancos de peces*, M.Sc. Thesis, Universidad Mayor de San Andrés, 2010.
- Walter G. (1953). *The Living Brain*, editor, Norton, Universidad de California, 1953.
- Kube R. (1997). *Collective robotics: From Local Perception to global action*, PhD. Thesis, Universidad of Alberta, Canadá, 1997
- Mataric M. J. (1994). *Interaction and Intelligent Behavior*, PhD. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, 1994.
- Parker L. (1998). *ALLIANCE: An Architecture for Fault Tolerant Multi-robot Cooperation*, Center of Engineering System Advanced Research, 1998.
- Pirayu J., Pérez G. (2007). *¿Que es la teoría de la mente?* Revista de Neurología, 2007.
- Russell S. J., Norvig P. (1999). *Inteligencia Artificial: un enfoque moderno*, Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. 1999.