



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

contec@mail.ita.mx

Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

López Pérez, Luis H.; Mata Herrera, Ernesto; García Pérez, Ernesto
Estado del arte en robotica movil autonoma distribuida
Conciencia Tecnológica, núm. 17, 2001
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94401701>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ESTADO DEL ARTE EN ROBOTICA MOVIL AUTONOMA DISTRIBUIDA

Ing. Luis H. López Pérez, Ing. Ernesto Mata Herrera, Ing. Ernesto García Pérez

Departamento De Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Av. López Mateos 1801 Ote., Esq. Av. Tecnológico
Aguascalientes, Ags., C.P. 20256
Tel.: +(4) 9-10-50-02 ext. 102
Fax: +(4) 9-70-04-23

Resumen

Con el progreso de la investigación en robótica distribuida, están siendo explorados muchos aspectos de sistemas de multi-robots. Este artículo tiene como objetivo presentar el estado del arte en el área de robots móviles distribuidos, dentro del proyecto denominado "Determinación de oportunidades tecnológicas en el área de robótica móvil" en la línea de investigación de Automatización de Procesos Industriales. El enfoque consistió principalmente en investigar lo que ha sido demostrado en implantaciones físicas de robots. Se han identificado ocho tópicos de investigación primarios con multi-robots[1]: inspiraciones biológicas, comunicación, arquitecturas, localización/ mapeo/ exploración, transporte de objetos y manipulación, coordinación de movimiento, robots reconfigurables y aprendizaje. Como resultado se tiene la descripción de cada área de investigación y la identificación de algunos temas de grupos de multi-robots. Se concluye identificando varios temas de investigación adicionales en este tipo de sistemas.

Palabras clave: Robótica distribuida, robótica cooperativa, sistemas de multi-robots.

Introducción

El campo de la robótica distribuida tiene sus orígenes a finales de los 80's, cuando varios investigadores comenzaron investigando temas en sistemas de robots móviles múltiples. Previo a este tiempo, la investigación se había concentrado en robots simples o sistemas de solución de problemas distribuidos que no involucraran componentes de robótica. Los tópicos de interés particular en este trabajo de robótica distribuida incluyen:

- Robots celulares (o reconfigurables)
- Planeación de movimientos de multi-robots
- Arquitecturas para cooperación de multi-robots

Desde esta investigación en robótica móvil distribuida, el área ha crecido dramáticamente, con una variedad

más amplia de tópicos abordados. Este artículo examina el estado actual del arte en sistemas de Robótica Móvil Autónoma Distribuida. Algunas áreas han sido exploradas más extensivamente, no obstante, la comunidad está comenzando a entender como desarrollar y controlar ciertos aspectos de grupos de multi-robots. Así, más que resumir la investigación en una taxonomía de sistemas cooperativos [2], en su lugar se organizó por las áreas principales que han generado niveles significativos de estudio en un espacio limitado. Como se presenta la revisión, se identificaron temas de investigación con cada área. Se concluye sugiriendo temas de investigación adicionales que no han sido todavía extensamente estudiados, pero parecen ser de interés creciente y necesarios en sistemas de multi-robots autónomos distribuidos.

Inspiraciones biológicas

Casi todo el trabajo en robótica móvil cooperativa comenzó después de la introducción del nuevo paradigma de la robótica de control basado en el comportamiento [3]. Este paradigma ha tenido una fuerte influencia en mucha de la investigación en robótica móvil cooperativa. Dado que el paradigma basado en el comportamiento de robótica móvil está apoyado en inspiraciones biológicas, muchos investigadores de robótica cooperativa lo han también encontrado instructivo para examinar las características sociales de insectos y animales, y aplicar estos hallazgos al diseño de sistemas de multi-robots.

La aplicación más común de este conocimiento es en el uso de reglas de control locales simples de varias sociedades biológicas -particularmente hormigas, abejas y pájaros- al desarrollo de comportamientos similares en sistemas de robots cooperativos. El trabajo en este tono ha demostrado la habilidad de grupos de multi-robots para acudir en masa, dispersarse, agregarse, buscar y seguir huellas [4]. Hasta cierto punto, la cooperación en animales superiores, tales como la jauría de lobos, ha generado avances en control cooperativo. Se han efectuado estudios significativos en sistemas predador-presa,

aunque principalmente en simulación [4]. La competencia en sistemas de multi-robots, tales como los encontrados en animales superiores incluidos los humanos, están comenzando a ser estudiados en dominios tales como multi-robots futbolistas [6]. Estas áreas de inspiración biológica y su aplicabilidad a grupos multi-robots parecen ser muy bien comprendidas. Los tópicos biológicos de relevancia incluyen el uso de la imitación en animales superiores para aprender nuevos comportamientos, y la interconectividad física demostrada por los insectos tales como hormigas para permitir la navegación colectiva sobre terrenos diferentes.

Comunicación

El tema de comunicación en grupos multi-robots ha sido extensamente estudiado desde el inicio de la investigación de la robótica distribuida. Se hacen distinciones entre comunicación implícita y explícita, en las cuales la comunicación implícita ocurre como un efecto lateral de otras acciones, mientras que la comunicación explícita es un acto específico diseñado solamente para conducir información a otros robots en el equipo. Varios investigadores han estudiado el efecto de comunicación en el rendimiento de grupos de multi-robots en una variedad de tareas, y han concluido que la comunicación provee ciertos beneficios para tipos particulares de tareas [7]. Adicionalmente estos investigadores han encontrado que, en muchos casos, la comunicación de una pequeña cantidad de información puede llevar un gran beneficio [7].

El trabajo más reciente en la comunicación de multi-robots se ha enfocado en lenguajes de representación y el establecimiento de estas representaciones en el mundo físico [8]. Adicionalmente, el trabajo se ha extendido a conseguir tolerancia a fallas en comunicación de multi-robots, tales como actualización y mantenimiento de redes de comunicación distribuidas [9] y asegurar la confiabilidad en la comunicación de multi-robots [10]. Mientras el progreso se está realizando en los temas más recientes de comunicación, queda mucho trabajo para permitir que grupos multi-robots operen confiablemente en medio de ambientes defectuosos de comunicación.

Arquitectura, Planeación de Tareas y Control

Un gran tratado de investigación en robótica distribuida se ha enfocado en el desarrollo de arquitecturas, capacidades de planeación de tareas y control. Esta área de investigación aborda los temas de selección de acción, delegación de autoridad y control, la estructura de comunicación, heterogeneidad contra

homogeneidad de robots, conseguir coherencia entre acciones locales, solución de conflictos y otros temas relacionados. Cada arquitectura que ha sido desarrollada para los grupos de multi-robots tiende a enfocarse en proveer un tipo específico de capacidad a los equipos de robots distribuidos. Las capacidades que han sido de énfasis particular incluyen planeación de tareas [11], tolerancia a fallas [12], diseño humano de planes de misiones [13], entre otros.

Una pregunta de investigación general en este tono es si las arquitecturas especializadas para cada tipo de equipo de robots y/o dominio de aplicación son necesarias o si una arquitectura más general puede ser desarrollada de tal forma que pueda ser fácilmente hecha a la medida de un rango amplio de sistemas de multi-robots. Relativamente poco del trabajo previo ha sido dirigido a unificar estas arquitecturas.

Localización, Mapeo y Exploración.

Una extensa cantidad de investigación ha sido realizada en el área de localización, mapeo y exploración para robots autónomos sencillos. Bastante de este trabajo está siendo aplicado a grupos multi-robots y ha sido dirigido a ambientes 2D. Adicionalmente, casi todo toma un algoritmo existente desarrollado para un robot sencillo: mapeo, localización o explicación y lo extiende a múltiples robots, como lo opuesto a desarrollar un nuevo algoritmo distribuido.

Como en el caso del enfoque de un robot sencillo a localización, mapeo y exploración, investigar en la versión de multi-robots puede describirse usando las categorías familiares basadas en el uso de puntos de referencia [14] y/o grafos [15, 16], los cuales usan sensores de rango (tales como sonar o láser) o sensores de visión. Mientras la visión de un robot sencillo es muy bien comprendida, queda mucho por ser estudiado en la versión de multi-robots. Por ejemplo, una pregunta es la efectividad de grupos de multi-robots sobre versiones de robot sencillos. Este tema ha comenzado a ser estudiado [16], pero queda mucho por ser determinado por la variedad de enfoques disponibles para localización, mapeo y exploración.

Transporte de objetos y manipulación.

La activación de múltiples robots para cargar, empujar o manipular objetos comunes cooperativamente, ha sido una meta antigua de los sistemas de multi-robots. Muchos proyectos de investigación han tratado con esta área; pocos de éstos han sido demostrados en sistemas de robot físicos. Esta área de investigación tiene un número de aplicaciones prácticas que lo hacen de interés particular para estudio.

Han sido estudiadas numerosas variaciones en esta área, incluyendo movimientos restringidos y no restringidos, equipo de dos robots contra grupos tipo "enjambre", mecanismos de agarre dóciles contra no dóciles, ambientes revueltos contra no revueltos, modelos de sistema globales contra distribuidos, entre otros. Quizás la tarea más demostrada involucrando transporte cooperativo es el empuje de objetos por grupos de multi-robots [17]. Esta tarea parece más fácil que la tarea de cargar, en la cual múltiples robots deben sujetar objetos comunes y navegar a un destino en un modo coordinado [18]. Una forma original de transportación de multi-robots que ha sido demostrada es el uso de cuerdas rodeando objetos para moverlos a lo largo de trayectorias deseadas [19].

Casi todo de los trabajos previos en esta área involucran mover robots a través de una superficie plana. Un tema que es un reto es el transporte cooperativo sobre superficies irregulares.

Coordinación de movimiento.

Un tópico popular de estudio en grupos de multi-robots es la coordinación de movimiento. Los temas de investigación en este dominio que han sido bien estudiados incluyen planeación de trayectorias de multi-robots [20], control de tráfico [21] y generación de formaciones [22]. La mayoría de estos temas son ahora muy bien comprendidos, aunque la demostración de estas técnicas en grupos de multi-robots físicos (más que en simulación) ha sido limitada.

Casi todos los trabajos previos han sido dirigidos a dominios 2D, aunque algunos trabajos han sido dirigidos en ambiente 3D [20].

Robots Reconfigurables

Aunque algunas de las investigaciones en robótica distribuida se enfocaron en conceptos para sistemas distribuidos reconfigurables [23], relativamente poco trabajo ha continuado en esta área hasta ahora. El trabajo más reciente ha resultado en un número de sistemas de robot físicos que se puede reconfigurar. Estos sistemas tienen la capacidad teórica de mostrar una gran robustez, versatilidad y autoseparación.

La mayoría del trabajo involucra módulos idénticos con mecanismos de interconexión que permiten la reconfiguración manual o automática. Estos sistemas han demostrado estar en forma en varias configuraciones de navegación, incluyendo, movimiento de lombriz o víbora [24] y movimiento de araña o hexápodo [24]. Algunos de ellos emplean un arreglo tipo cubo con módulos para conectarse de varias maneras para formar matrices o latices para funciones específicas [25].

La investigación está aún muy joven y la mayoría de los sistemas desarrollados no están todavía aptos para ejecutar más allá de simples experimentos de laboratorio. Mientras el potencial de un gran número de módulos de robots ha sido demostrado en simulación, no es aún común tener implantaciones involucrando más de una docena de módulos físicos. La aplicación práctica de estos sistemas está todavía por ser demostrada, aunque hay avances en esta dirección. Claramente, esta es un área rica para continuar avanzando en ella.

Aprendizaje

Muchos investigadores creen que un enfoque con más potencial para el desarrollo de mecanismos de control cooperativos es el aprendizaje autónomo. Una cantidad considerable de trabajo se ha realizado en el aprendizaje de multiagentes [26], algo menos ha sido realizado en aprendizaje de multi-robots. Los tipos de aplicaciones que son típicamente estudiadas por esta área varían considerablemente en sus características. Algunas de las aplicaciones incluyen el sistema predador/presa [27], empuje de cajas [28] y multi-robots futbolistas [29].

Particularmente, los dominios de retos para aprendizaje de multi-robots son aquellas tareas que son inherentemente cooperativas, esto es, tareas en las cuales la utilidad de la acción de un robot es dependiente de las acciones actuales de otro de los miembros del grupo. Inherentemente, las tareas cooperativas no pueden ser descompuestas en sub tareas independientes ha ser resueltas por un grupo de robot distribuidos. En su lugar, el éxito del grupo a través de su ejecución es medido por las acciones combinadas de los robots, más que las acciones individuales. Este tipo de actividad es un reto particular del aprendizaje de multi-robots, debido a la dificultad de asignar crédito a las acciones individuales de los movimientos del grupo.

Conclusiones

Es claro que desde la creación del campo de la robótica móvil autónoma distribuida hace menos de dos décadas, se han hecho avances significativos en un número importante de temas. Este campo es bien comprendido en los aspectos de las aspiraciones biológicas, el uso de comunicación en grupos de multi-robots y el diseño de arquitecturas para control de multi-robots. También se ha progresado considerablemente en localización/ mapeo/ exploración, transporte cooperativo de objetivos y coordinación de movimientos. Recientemente se está comenzando a avanzar en las áreas de reconfiguración de robots y aprendizaje de multi-robots. De seguro

todas estas áreas no han sido completamente estudiadas, se han identificado retos de investigación para cada una de ellas en las selecciones anteriores.

Otros retos de investigación que aún quedan, incluyen:

- La identificación y la cuantificación de las ventajas fundamentales y características de los sistemas de multi-robots.
- El hacer que los humanos controlen grupos de multi-robots más fácilmente.
- La posibilidad de realizar el reconocimiento de acciones pasivas en grupos de multi-robots.
- El poder hacer sistemas físicos de multi-robots para trabajar bajo las restricciones de tiempo real.
- Determinar cómo la complejidad de la actividad y del ambiente afectan el diseño de sistemas de multi-robots.

Referencias

- [1] L. E. Parker. (2000) *Distributed Mobile Robots*, Reporte Técnico, Oak Ridge National Laboratory, 2000.
- [2] Y. Uny Cao, Alex Fukinaga, Andrew Kahng y Frank Meng. (1995) "Cooperative mobile robotics: Antecedents and directions". En *Proceedings of 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'95)*.
- [3] Rodney A. Brooks. (1986) *A robust layered control system for a mobile robot*. IEEE Journal of Robotics and Automation.
- [4] J. Deneubourg, S. Goss, G. Sandini, F. Ferrari y P. Dario. (1990) "Self-organizing collection and transport of objects in unpredictable environments". En *Japan-U.S.A. Symposium on Flexible Automation*.
- [5] Thomas Haynes y Sandip Sen. (1986) Evolving behavioral strategies in predators and prey. En Gerard Weiss y Sandip Sen, editores. *Adaptation and Learning in Multi-Agent Systems*, Springer, 1986.
- [6] S. Marsella, J. Adibi Y. Al-Onaizan, G. Kaminka Muslea y M. Tambe. (1999) "On being a teammate: Experiences acquired in the design of RoboCup teams". En O. Etzioni, J. Muller, y J. Bradshaw, editores, *Proceedings of the Third Annual Conferencia on Autonomous Agents*.
- [7] Tucher Balch y Ronald C. Arkin. (1994) *Communication in reactive multiagent robotic system*. Autonomous Robots.
- [8] David Jung y Alexander Zelinsky. (2000) *Grounded symbolic communication between heterogeneous cooperating robots*. Autonomous Robots.
- [9] A. Winfield. (2000) "Distributed sensing and data collection via broken ad hoc wireless connected networks of mobile robots." En *Proceedings of Fifth International Symposium on Distributed Autonomous Robotics Systems (DARS 2000)*.
- [10] P. Molnar y J. Starke. (2000) "Communication fault tolerance in distributed robotic systems." En *Proceedings of Fifth International Symposium on Distributed Autonomous Robotics Systems (DARS 2000)*.
- [11] R. Alami, S. Fleury M. Herrb F. Ingrand y F. Robert. (1997) *Multi-robot cooperation in the Martha project*. IEEE Robotics and Automation Magazine.
- [12] L. E. Parker. (1998) *ALLIANCE: An architecture for fault-tolerant multi-robot cooperation*. IEEE Transactions on Robotics and Automation, páginas 220-224.
- [13] D. MacKenzie, R. Arkin y J. Cameron. (1997) *Multiagent mission specification and execution*. Autonomous Robots, páginas 29-52.
- [14] G. Dedeoglu y G. Sukhatme. (2000) "Landmark-based matching algorithm for cooperative mapping by autonomous robots". En *Proceedings of the Fifth International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems (DARS 2000)*.
- [15] I. Rekleitis, G. Dudek y E. Milios. (2000) "Graph-based exploration using multiple robots". En *Proceedings of the Fifth International Symposium on Distributed Autonomous Robotic System (DARS 2000)*.
- [16] N. S. V. Rao. (2000) "Terrain model acquisition by mobile robot teams and inconnectivity". En *Proceedings of the Fifth International Symposium on Distributed Autonomous Robotic System (DARS 2000)*.
- [17] D. Rus, B. Donald y J. Jennings. (1995) "Moving furniture with teams of autonomous robots". En *Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, páginas 235-242.
- [18] Z. Wang, Y. Kimura, T. Takahashi y E. Nakano. (2000) "A control method of a multiple non-holonomic robot system for cooperative object transportation". En *Proceedings of the Fifth International Symposium on Distributed Autonomous Robotic System (DARS 2000)*.
- [19] B. Donald, L. Garipey y D. Rus. (2000) "Distributed manipulation of multiple objects using ropes". En *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, páginas 450-457.