

ROBOTICA COLABORATIVA DE BÚSQUEDA Y RESCATE, UNA CLASIFICACIÓN BASADA EN INTERACCIÓN FÍSICA

Christyan Cruz Ulloa, Jaime del Cerro, Antonio Barrientos
(christyan.cruz.ulloa - j.cerro - antonio.barrientos)@upm.es

Resumen

La Robótica de Búsqueda y Rescate en las últimas décadas ha sido una línea de gran crecimiento, brindando apoyo a brigadas de primera línea en situaciones pos-desastre, aportando principalmente transmisión de información desde zonas de alto riesgo o asistiendo con equipos de primeros auxilios a víctimas. El presente artículo busca establecer una clasificación entre los diferentes tipos de colaboración que pueden generarse entre robots terrestres heterogéneos para tareas de búsqueda y rescate, basado en un criterio planteado según, su interacción física, por los autores. Para ello se han realizado diferentes pruebas mediante robots con diferentes sistemas de locomoción (orugas, patas) en entornos reales que han permitido validar el criterio planteado. Entre las principales situaciones abordadas se destaca el contacto físico directo (Marsupial - Rampa) e indirecto (cables) y sin contacto físico (percepción externa - feromonas) para entornos pos-desastre. De entre las principales ventajas de la robótica colaborativa, extraídas como conclusión en base a este estudio, destacan la capacidad de maximizar las áreas de búsqueda, accediendo a zonas elevadas, explorando cráteres/socavones o asistencia entre robot a través de zonas con oclusiones, de manera similar a como lo haría una brigada de intervención humana.

Palabras clave: Robots Colaborativos, ROS, Sistemas Multirobot, Búsqueda y Rescate, Sistemas de Percepción.

1. INTRODUCCIÓN

Los entornos pos-desastre consecuencia de sucesos naturales (terremotos, huracanes, inundaciones, Etc.) o atentados; han tenido como consecuencia la pérdida de miles de vidas según registros históricos [39]. Dentro de estos escenarios han existido intervenciones robotizadas que han dado soporte a las brigadas de emergencia, aportando con información del entorno, como los registrados en Estados Unidos (Torres Gemelas - 2001) [4], Japón (Fukushima - 2011) [9], Italia (Amatrice - 2016) [17], México (2017) [41].

Los sistemas multirobot (MRS por sus siglas en inglés), han mostrado ser un elemento de soporte de gran relevancia para brigadas de rescatistas, protegiendo la integridad humana al efectuar inspecciones tempranas, previo al ingreso de brigadas. Dentro de las ventajas de los MRS se destaca además, que permiten masificar las áreas de búsqueda y optimizan el tiempo de búsqueda de víctimas [20, 3, 27, 8].

El principal enfoque de este trabajo, busca establecer una agrupación dentro del estado del arte para los robots colaborativos (terrestres) en base a un criterio de interacción física planteado por los autores. De este modo, en base a la existencia de interacción o en función de las capacidades particulares de cada robot, tanto mecánicas como sensoriales, el fin común será maximizar el alcance de zonas exploradas en estos entornos.

Dentro de los desarrollos más relevantes dentro de este campo, se han analizado y extraído las principales aportaciones, a fin de poder establecer un criterio propio para poder clasificar a los robots colaborativos. De esta manera en estos trabajos se destaca una clasificación de MRS enfocada en coordinación, donde se establecen coordinaciones fuertemente y poco coordinadas [10].

Por otra parte, otros desarrollos se enfocan en agrupar a los robots de búsqueda y rescate en función de sus sistemas de locomoción o sistemas sensoriales [8]. Uno de los desarrollos más recientes se enfoca en tareas de planificación, coordinación, percepción y visión [32]. En [26] se agrupa a los robots en función de las tareas a efectuar, así como los sistemas de locomoción y sensores principalmente utilizados para estos ambientes.

El criterio de clasificación propuesto por los autores, según la interacción física se muestra en la Figura 1. En ella se muestra un diagrama que parte de los MRS para el Criterio 1 evaluando si son o no colaborativos, se consideran tanto homogéneos y heterogéneos para ejecutar las tareas. Dentro de los tipos de colaboración, se plantea la Relación Física con/sin contacto en el Criterio 2 (para el primer caso se considera contacto directo/indirecto). Finalmente el Criterio 3 se enfoca en

las capacidades de interacción de los robots tanto adaptaciones mecánicas como sensoriales para efectuar la colaboración.

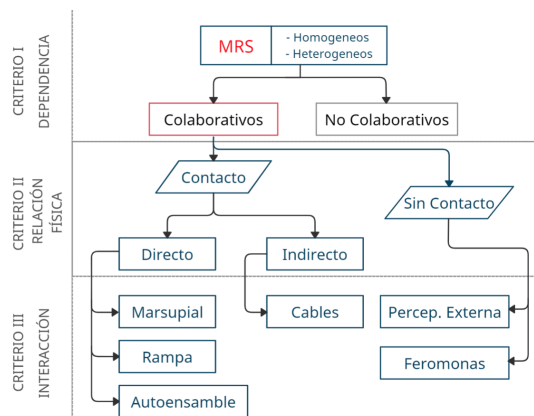


Figura 1: Criterio de clasificación para robots colaborativos en base a la interacción física planteada por los autores.

Este artículo está estructurado de la siguiente manera en la Sección 2 se destacan las contribuciones más relevantes dentro del campo. La Sección 3 muestra los principales desarrollos actuales enfocados según el criterio propuesto, el desarrollo experimental y discusión se detallan en la Sección 4. Finalmente la Sección 5 presenta las conclusiones extraídas de este trabajo.

2. ESTADO DEL ARTE

La evolución de los trabajos dentro del área de robots colaborativos aplicados a tareas de búsqueda y rescate, ha tenido un crecimiento exponencial a lo largo de las últimas dos décadas. La Figura 2 indica el crecimiento anual del número de trabajos con temática Robótica Colaborativa para Búsqueda y Rescate”, mientras la línea roja muestra el tipo de crecimiento exponencial que han experimentado los mismo. Esto es una muestra del creciente interés que existe en esta área de la robótica por parte de grupos y centros de investigación en el mundo.

En esta sección se enfatizará la clasificación planteada agrupando los principales desarrollos dentro del estado del arte según el criterio de interacción física definido por los autores.

Dentro del campo de la colaboración, la mayoría de los enfoques se centran en temas de localización [15], mapeado [42], manipulación de objetos [11], exploración sincronizada [22].

En la literatura pueden encontrarse clasificaciones de los MRS atendiendo criterios: el nivel de coordinación [10], la percepción-coordinación [33],

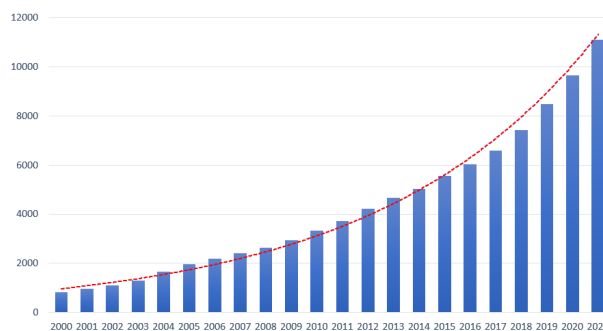


Figura 2: Crecimiento de trabajos relacionados con temática de Robótica de Colaborativa para Búsqueda y Rescate” dentro de Google Scholar.

el grado de interacción [45] o la aplicación entre otros [6].

En base a estos desarrollos se plantea el criterio de clasificación de los Robots Colaborativos en base a la interacción física descrita en la Figura 1, ya que ninguna de las clasificaciones encontradas ha sido realizada en base a la interacción física entre robots terrestres de búsqueda y rescate.

3. CLASIFICACIÓN

3.1. Robots Colaborativos, Interacción con Contacto

Dentro de esta ramificación planteada, se consideran dos tipos de contacto para la colaboración. El directo donde uno o varios robots presentan una interacción rígida e intrusiva para abordar la misión y el indirecto donde existe un elemento intermedio no rígido para la colaboración.

3.1.1. Contacto Directo - Marsupial

Los robots de tipo marsupial han sido desarrollados a lo largo de las últimas dos décadas, destacando una de sus principales ventajas como la optimización de energía para transportar uno o varios robots [7] por uno de mayores capacidades de carga y energéticas, así como la rapidez de transporte hacia una zona [23, 43]. Algunos de los desarrollos más relevantes utilizan rampas para llevar robots con orugas [25, 5], o ascensores para el levantamiento [44]

3.1.2. Contacto Directo - Rampa

Este campo dentro de la robótica para superación de obstáculos positivos o ascenso a zonas elevadas ha sido poco explorado, sobre todo enfocado a sistemas robóticos autónomos colaborativos. Los desarrollos actuales se han enfocado en detectar una zona de subida (rampa) existente en el

entorno y subir por ella [18], así como para bajar por la misma [21]. Otro desarrollo construyen rampas mediante material de aportación, pero no para fines colaborativos [28]. Dentro de este nicho se ha enfocado uno de los aportes presentados en la siguiente sección, donde se presenta una primera fase de la superación colectiva de obstáculos en altura mediante dos robots colaborativos.

3.1.3. Contacto Directo - Autesamble

Este campo que ha sido motivo de frecuentes investigaciones, sobre todo ha sido abordado por enjambres de robots, estos de forma colaborativa superan grietas, estableciendo configuraciones variables [24, 29]. Generalmente este tipo de robots utilizan mecanismos como grippers para enlazarse entre sí, además suelen ser robots homogéneos [14].

La principal ventaja de los enjambres con este tipo de colaboración es la modularidad y amplio número de robots que pueden realizar esta cooperación [40, 30].

3.1.4. Contacto Indirecto - Cables

Este concepto ha sido aplicado en las últimas décadas, sobre todo para el descenso de robots por pendientes pronunciadas, para explorar cráteres. Destacan sobre todo los proyectos CESAR y DANTE II dentro de esta área [1, 35, 2, 16].

Sin embargo actualmente no se han encontrado desarrollos de robots colaborativos que ejecuten esta tarea de forma autónoma.

3.2. Robots Colaborativos, Interacción sin Contacto

Además de la dependencia física para la colaboración, existe otro campo que se ha planteado como subclasificación que es la colaboración sin contacto. Esta busca abordar las situaciones donde el sistema de percepción de un robot pierde información del medio por lo cual requiere de información adicional externa (generalmente mediante imagen), proveniente de otro robot colocado en un punto de vista favorable.

3.2.1. Sin Contacto - Percepción Externa

Este tipo de colaboración es especialmente interesante ya que permite a un robot continuar con una misión de exploración o manipulación de objetos, inclusive en zonas donde pueden llegar a existir oclusiones. Principalmente esto se produce cuando el robot se aproxima al sitio de ejecución de la tarea o a una zona con paso estrecho, donde se produce la tendencia a generar una pérdida de visión. En este sentido la colaboración sin contac-

to establece que un segundo robot puede asistir al primero guiándolo bajo su sistema referencial para completar la tarea.

Dentro del estado del arte este tema es poco abordado por robots autónomos, sin embargo existen algunos desarrollos que usan este concepto de asistencia externa como [31, 19, 37, 34]

3.2.2. Sin Contacto - Feromonas

La interacción mediante feromonas es un tema ampliamente desarrollado dentro del campo de enjambres de robots, sobre todo para exploración de zonas, buscando imitar el comportamiento de los insectos, a través de la generación de gradientes en áreas, utilizando funciones de coste para comunicar a los demás robots del equipo que un sitio ha sido previamente ya explorado o a su vez comunicando que existe información de interés [13, 38, 36, 12].

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL Y DISCUSIÓN

En base a lo establecido dentro del estado del arte y a la clasificación definida por los autores, se ha planteado desarrollar como aporte uno de los casos para cada sistema colaborativo con relación física tanto con/sin contacto.

De este modo se ha planteado utilizar tres plataformas robóticas equipadas con sistemas sensoriales y mecanismos de actuación para abordar los casos de ascenso a zonas de desnivel mediante rampa (TCOLAB-1) y percepción externa para manipulación de objetos (TCOLAB-2).

4.1. Plataformas Robóticas Terrestres y Sistemas Sensoriales

Para este desarrollo se han utilizado los robots mostrados en la Figura 3, respectivamente de izquierda a derecha son:



Figura 3: Equipo de robots heterogéneo utilizado para el desarrollo de experimentos.

- ARTU-R: Unitree Rescue Task UPM Robot, un robot cuadrúpedo dotado de un manipulador de 6DOF, sensor Lidar 2D, cámara RGB-D.
- Wall-e, un robot explorador con orugas de tamaño reducido, que cuenta con un sensor RGB-D.
- Jaguar, una plataforma robusta con orugas dotada de un sistema de elevación tipo rampa-marsupial con diversos sensores propioceptivos y exteroceptivo para conocer su estado actual.

Los robots que confirman el equipo para la tarea TCOLAB-1 son Jaguar y Wall-e, mientras para la TCOLAB-2 son ARTU-R y Wall-e.

4.2. Pruebas en Entornos Controlados

En esta primera fase experimental se han llevado a cabo pruebas en entornos de laboratorio de manera teleoperada, validando el concepto de colaboración planteado inicialmente.

4.2.1. Ascenso Colaborativo - Marsupial

Este desarrollo planteado, busca masificar la exploración inicial en un entorno llevando el robot explorador (Wall-e) hacia zonas elevadas. En este sentido el robot rampa (Jaguar) se posiciona de manera teleoperada en la zona detectada por el operador en la estación de mando y despliega la rampa de dos grados de libertad; posicionándola tanto en orientación como longitudinalmente. La rampa cuenta con sensores de inclinación y proximidad para avisar al usuario cuando este próximo al contacto.

Una vez colocado el robot rampa, el explorador de forma teleoperada desde la estación de mando, se centra y sube hasta alcanzar la zona elevada, de tal manera que la exploración sea más exhaustiva por sitios elevados. La Figura 4(a) muestra el ascenso colaborativo para dar continuidad a la exploración.

La configuración marsupial se puede adaptar en estas mismas plataformas, el despliegue inicial del robot rampa permite en primera instancia subir al robot explorador y posteriormente se orienta la rampa en posición horizontal, como se muestra en la Figura 4(b).

4.2.2. Percepción Externa

Esta prueba busca simular una tarea de asistencia colaborativa para manipulación de objetos. Donde el problema viene dado por que los sistemas



(a) Robots en configuración ascenso colaborativo.



(b) Robots en configuración marsupial.

Figura 4: Configuraciones para robots con interacción de contacto físico directo.

sensoriales (imagen RGB y nubes de puntos) del robot ARTU-R (con capacidad de manipulación) se ven ocluidos y requieren de un punto de vista externa para culminar la tarea.

La Figura 5 muestra la esquematización de la tarea que en esta primera fase se ha llevado a cabo de forma teleoperada. Un operador desde una estación en remoto controla ambos robots. Inicialmente en la Figura 5-A ARTU-R se acerca hasta perder visibilidad del botiquín a sujetar. Por lo que se requiere de un punto de vista externo para dar visibilidad al operador. En la Figura 5-B se muestra el brazo robótico acercándose al botiquín para capturarlo.

Se han colocado marcas auxiliares (arucos) en el extremo del brazo robótico (líneas azules), así co-

mo en su torso (línea roja) para definir los sistemas referenciales respecto al sensor RGB-D de Wall-e.

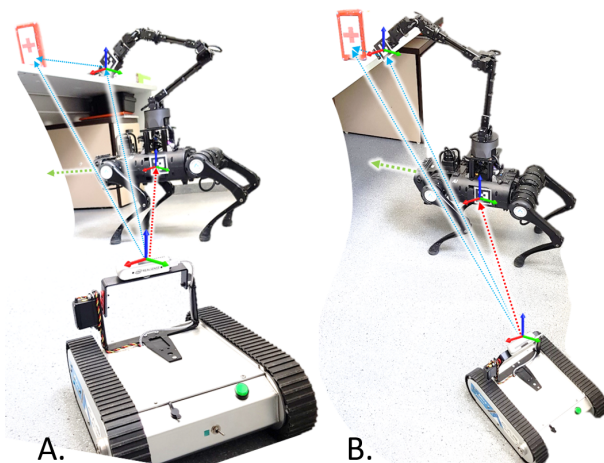


Figura 5: Ejemplificación de percepción externa para tareas de manipulación entre robots colaborativos.

4.3. Relevancia de la Clasificación Planteada

La clasificación propuesta agrupa las potenciales interacciones que los robots colaborativos pueden tener dentro enfocado en aplicaciones de búsqueda y rescate. Uno de los puntos a destacar es sobre todo la ramificación de robots colaborativos sin contacto, a través de percepción externa o mediante feromonas. De estas, la primera es la manera que más asemeja a la ejecución de una brigada de rescate cuando se enfrenta a situaciones: un rescatista requiere ser guiado por otro colocado en una zona con visión más amplia para alcanzar objetos o atravesar sitios estrechos.

Por otra parte la iniciativa de agrupar las interacciones que requieren de contacto en directo/indirecto, busca homogeneizar los trabajos dentro del estado del arte en función de las ventajas peculiares que cada subramificación planteada aportaría, como el marsupial que permite optimizar batería y tiempo de desplazamiento del robot transportado. El tipo rampa que busca dar continuidad a la exploración en zonas de altura.

A día de hoy no se ha identificado una clasificación en base a la interacción física, dentro del estado del arte. Por lo cual el aporte planteado se considera de relevancia.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha planteado una clasificación para los robots colaborativos en base a un criterio de interacción física. El cual ha permitido generar

un desglose dentro de este campo hasta llegar a un nivel de colaboración en función de las capacidades mecánicas y sensoriales de los robots.

Las diferentes colaboraciones entre robots heterogéneos, permiten maximizar el alcance de las zonas exploradas, ya sea a través del uso de rampas, cables o asistencia exteroceptiva.

Una de las ventajas de los robots colaborativos destaca en la superación conjunta de obstáculos de manera similar a como lo realizaría una brigada de rescatistas, utilizando cuerdas para descenso, apoyo para subir a zonas elevadas. Como se ha planteado en las ejemplificaciones descritas en este tabajo.

Existe un gran campo de estudio dentro de la robótica colaborativa, sobre todo de cara a ejecutar las tareas descritas de forma autónoma que es objeto de futuros desarrollos, en esta primera fase, se han planteado una serie de ejemplos entre robots de forma teleoperada.

Agradecimientos

Este trabajo ha recibido financiación de RoboCity2030-DIH-CM Madrid Robotics Digital Innovation Hub Robótica aplicada a la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos, fase IV”; S2018/NMT-4331), financiado por ”Programas de Actividades I+D en la Comunidad de Madridz cofinanciado por los Fondos Estructurales de la UE y por el proyecto TASAR (Equipo de Robots de Búsqueda y Rescate Avanzado), financiado por “Proyectos de I+D+i del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

English summary

SEARCH AND RESCUE COLLABORATIVE ROBOTICS, A CLASSIFICATION BASED ON PHYSICAL INTERACTION

Abstract

Search and Rescue Robotics has been a line of remarkable growth in recent decades, providing support to frontline brigades in post-disaster situations, mainly providing information transmission from high-risk areas or assisting with first aid teams to victims. This article seeks to classify the different types of collaboration generated between heterogeneous terrestrial robots for search and rescue tasks based on

a criterion raised according to their physical interaction defined by the authors. To this end, different tests have been specified using robots with different locomotion systems (caterpillars, legs) in real environments that have allowed the proposed criteria to be validated. Among the main situations addressed, direct physical contact (Marsupial - Ramp) and indirect (cables) and without physical contact (external perception - pheromones) for post-disaster environments stand out. The main advantages of collaborative robotics drawn as a conclusion based on this study highlight the ability to maximize search areas, access elevated areas, explore craters/undercuts or assist robots through areas with occlusions, in a similar way as a human intervention brigade would do it.

Keywords: Collaborative Robots, ROS, Immersive Interfaces, Search and Rescue, Perception Systems.

Referencias

- [1] Pablo Abad-Manterola, Issa A. D. Nenas y Joel.W. Burdick. "Motion planning on steep terrain for the tethered axel rover". En: *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2011, págs. 4188-4195. DOI: 10.1109/ICRA.2011.5980238.
- [2] John E. Bares y David S. Wettergreen. "Lessons from the Development and Deployment of Dante II". En: *Field and Service Robotics*. Ed. por Alexander Zelinsky. London: Springer London, 1998, págs. 74-81. ISBN: 978-1-4471-1273-0.
- [3] J. L. Baxter y col. "Multi-Robot Search and Rescue: A Potential Field Based Approach". En: *Autonomous Robots and Agents*. Ed. por Subhas Chandra Mukhopadhyay y Gourab Sen Gupta. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007, págs. 9-16. ISBN: 978-3-540-73424-6. DOI: 10.1007/978-3-540-73424-6_2. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-540-73424-6_2.
- [4] Michael R. Blackburn, H. R. Everett y Robin T. Laird. *After Action Report to the Joint Program Office: Center for the Robotic Assisted Search and Rescue (CRASAR) Related Efforts at the World Trade Center*. Inf. téc. SPACE y NAVAL WARFARE SYSTEMS CENTER SAN DIEGO CA, ago. de 2002.
- [5] Micael S. Couceiro y col. "Marsupial teams of robots: deployment of miniature robots for swarm exploration under communication constraints". En: *Robotica* 32.7 (2014), págs. 1017-1038. DOI: 10.1017/S0263574713001185.
- [6] Rachael N. Darmanin y Marvin K. Bugeja. "A review on multi-robot systems categorised by application domain". En: *2017 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*. 2017, págs. 701-706. DOI: 10.1109/MED.2017.7984200.
- [7] Frank Dellaert y col. "The Georgia Tech Yellow Jackets: A Marsupial Team for Urban Search and Rescue." En: *AAAI Mobile Robot Competition 2002* (2002), págs. 44-49.
- [8] Jeffrey Delmerico y col. "The current state and future outlook of rescue robotics". En: *Journal of Field Robotics* 36.7 (2019), págs. 1171-1191. DOI: <https://doi.org/10.1002/rob.21887>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/rob.21887>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rob.21887>.
- [9] Ron Eguchi y col. *The 2010 Canterbury and 2011 Christchurch New Zealand Earthquakes and the 2011 Tohoku Japan Earthquake*. Inf. téc. Earthquake Engineering Research Institute, 2012.
- [10] A. Farinelli, L. Iocchi y D. Nardi. "Multirobot systems: a classification focused on coordination". En: *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)* 34.5 (2004), págs. 2015-2028. DOI: 10.1109/TSMCB.2004.832155.
- [11] Zhi Feng y col. "An overview of collaborative robotic manipulation in multi-robot systems". En: *Annual Reviews in Control* 49 (2020), págs. 113-127. ISSN: 1367-5788. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.02.002>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1367578820300043>.
- [12] Anna Font Llenas y col. "Quality-sensitive foraging by a robot swarm through virtual pheromone trails". En: *International conference on swarm intelligence*. Springer, 2018, págs. 135-149.
- [13] Rubén Martín García y col. "Urban Search and Rescue with Anti-pheromone Robot Swarm architecture". En: *2021 Telecoms Conference (ConfTELE)*. 2021, págs. 1-6.

- DOI: 10 . 1109 / ConfTELE50222 . 2021 . 9435557.
- [14] Roderich Gross y col. “Autonomous Self-Assembly in Swarm-Bots”. En: *IEEE Transactions on Robotics* 22.6 (2006), págs. 1115-1130. DOI: 10 . 1109/TR0 . 2006 . 882919.
- [15] Ivan Kalinov y col. “High-Precision UAV Localization System for Landing on a Mobile Collaborative Robot Based on an IR Marker Pattern Recognition”. En: *2019 IEEE 89th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Spring)*. 2019, págs. 1-6. DOI: 10.1109/VTCSpring.2019.8746668.
- [16] M. Krishna, J. Bares y E. Mutschler. “Tethering system design for Dante II”. En: *Proceedings of International Conference on Robotics and Automation*. Vol. 2. 1997, 1100-1105 vol.2. DOI: 10 . 1109 / ROBOT . 1997.614283.
- [17] I. Kruijff y col. “Deployment of ground and aerial robots in earthquake-struck Amatrice in Italy (brief report)”. En: *2016 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*. Oct. de 2016, págs. 278-279. DOI: 10 . 1109 / SSRR . 2016 . 7784314.
- [18] I-Hsum Li y col. “Autonomous Ramp Detection and Climbing Systems for Tracked Robot Using Kinect Sensor”. En: *International Journal of Fuzzy Systems* 15 (2013), págs. 452-459.
- [19] Y.F. Li y M.H. Lee. “Applying vision guidance in robotic food handling”. En: *IEEE Robotics Automation Magazine* 3.1 (1996), págs. 4-12. DOI: 10.1109/100.486656.
- [20] Cai Luo y col. “Multi-robot search and rescue team”. En: *2011 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*. 2011, págs. 296-301. DOI: 10 . 1109 / SSRR . 2011 . 6106746.
- [21] Christian Lutz y col. “NAO walking down a ramp autonomously”. En: *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2012, págs. 5169-5170. DOI: 10.1109/IROS.2012.6386268.
- [22] Nesrine Mahdoui, Vincent Frémont y Enrico Natalizio. “Cooperative Frontier-Based Exploration Strategy for Multi-Robot System”. En: *2018 13th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE)*. 2018, págs. 203-210. DOI: 10.1109/SYSOSE.2018.8428787.
- [23] Tahzib Mashrik y col. “Urban search and rescue mission: The use of marsupial robots”. En: *Journal of Modern Science and Technology* 4.1 (2016).
- [24] Francesco Mondada y col. “Search for rescue: an application for the SWARM-BOT self-assembling robot concept”. En: *Technical report, LSA2-I2S-STI* (2002).
- [25] R.R. Murphy. “Marsupial and shape-shifting robots for urban search and rescue”. En: *IEEE Intelligent Systems and their Applications* 15.2 (2000), págs. 14-19. DOI: 10.1109/5254.850822.
- [26] Robin R. Murphy, Satoshi Tadokoro y Alexander Kleiner. “Disaster Robotics”. En: *Springer Handbook of Robotics*. Ed. por Bruno Siciliano y Oussama Khatib. Cham: Springer International Publishing, 2016, págs. 1577-1604. ISBN: 978-3-319-32552-1. DOI: 10 . 1007 / 978 - 3 - 319 - 32552 - 1 _ 60. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_60.
- [27] Keiji Nagatani y col. “Multirobot exploration for search and rescue missions: A report on map building in RoboCupRescue 2009”. En: *Journal of Field Robotics* 28.3 (2011), págs. 373-387. DOI: <https://doi.org/10.1002/rob.20389>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/rob.20389>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rob.20389>.
- [28] Nils Napp y Radhika Nagpal. “Distributed amorphous ramp construction in unstructured environments”. En: *Robotica* 32.2 (2014), págs. 279-290. DOI: 10 . 1017 / S0263574714000113.
- [29] Rehan O’Grady y col. “Robots autonomously self-assemble into dedicated morphologies to solve different tasks”. En: *Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: volume 1-Volume 1*. 2010, págs. 1517-1518.
- [30] Rehan O’Grady y col. “Swarm-Bots to the Rescue”. En: *Advances in Artificial Life. Darwin Meets von Neumann*. Ed. por George Kampis, István Karsai y Eörs Szathmáry. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, págs. 165-172. ISBN: 978-3-642-21283-3.
- [31] Mario Prats y col. “Robotic execution of everyday tasks by means of external vision/force control”. En: *Intelligent Service Robotics* 1.3 (2008), págs. 253-266.
- [32] Jorge Peña Queralta y col. “Collaborative Multi-Robot Search and Rescue: Planning, Coordination, Perception, and Active Vision”. En: *IEEE Access* 8 (2020), págs. 191617-191643. DOI: 10 . 1109 / ACCESS . 2020 . 3030190.

- [33] Jorge Peña Queralt y col. “Collaborative Multi-Robot Systems for Search and Rescue: Coordination and Perception”. En: *CoRR* abs/2008.12610 (2020). arXiv: 2008.12610. URL: <https://arxiv.org/abs/2008.12610>.
- [34] Abhijeet Ravankar y col. “Intelligent Robot Guidance in Fixed External Camera Network for Navigation in Crowded and Narrow Passages”. En: *Proceedings* 1.2 (2017). ISSN: 2504-3900. DOI: 10.3390/ecsa-3-D008. URL: <https://www.mdpi.com/2504-3900/1/2/37>.
- [35] Jakob Schwendner y col. “CESAR: A lunar crater exploration and sample return robot”. En: *2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2009, págs. 3355-3360. DOI: 10.1109/IROS.2009.5354353.
- [36] Zhiguo Shi y col. “Adaptive reinforcement Q-Learning algorithm for swarm-robot system using pheromone mechanism”. En: *2013 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*. 2013, págs. 952-957. DOI: 10.1109/ROBIO.2013.6739586.
- [37] Kyung-Hwan Shim y col. “Assistive Robotic Arm Control based on Brain-Machine Interface with Vision Guidance using Convolutional Neural Network”. En: *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)*. 2019, págs. 2785-2790. DOI: 10.1109/SMC.2019.8914058.
- [38] Daniel H. Stolfi y col. “Emerging Inter-Swarm Collaboration for Surveillance Using Pheromones and Evolutionary Techniques”. En: *Sensors* 20.9 (2020). ISSN: 1424-8220. DOI: 10.3390/s20092566. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/9/2566>.
- [39] UNDRR. *United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR)*. URL: <https://www.undrr.org/home>.
- [40] Hongxing Wei y col. “Sambot: A self-assembly modular robot for swarm robot”. En: *2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2010, págs. 66-71. DOI: 10.1109/ROBOT.2010.5509214.
- [41] Julian Whitman y col. “Snake Robot Urban Search After the 2017 México City Earthquake”. En: *IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)* (ago. de 2018).
- [42] Yufeng Yue y col. “Probabilistic Fusion Framework for Collaborative Robots 3D Mapping”. En: *2018 21st International Conference on Information Fusion (FUSION)*. 2018, págs. 488-491. DOI: 10.23919/ICIF.2018.8455670.
- [43] Jie Zhao y col. “Research on the Application of a Marsupial Robot for Coal Mine Rescue”. En: *Intelligent Robotics and Applications*. Ed. por Caihua Xiong y col. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, págs. 1127-1136. ISBN: 978-3-540-88518-4.
- [44] Peng Zhao y col. “The design of a mother robot for marsupial robotic system”. En: *2014 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*. 2014, págs. 675-679. DOI: 10.1109/ICMA.2014.6885778.
- [45] Anmin Zhu y Simon X. Yang. “A survey on intelligent interaction and cooperative control of multi-robot systems”. En: *IEEE IC-CA 2010*. 2010, págs. 1812-1817. DOI: 10.1109/ICCA.2010.5524132.



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC-BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>).