

INTRODUCIENDO LA ROBÓTICA DE ENJAMBRES A ENTUSIASTAS DE LA ROBÓTICA: EXPERIENCIAS Y RESULTADOS DE UNA COLABORACIÓN ACADÉMICA

Garzón Ramos, David¹; Bolaños, Juan Pablo²; Diaz, Jazmín³; Pachajoa, Gabriel⁴; Birattari, Mauro⁵

¹IRIDIA, Université libre de Bruxelles. E-mail: dgarzonr@ulb.ac.be

²Universidad de Nariño. E-mail: juanpab.m@udenar.edu.co

³Universidad de Nariño. E-mail: jazmindiaz@udenar.edu.co

⁴Universidad de Nariño. E-mail: gabrielpachajoa@udenar.edu.co

⁵IRIDIA, Université libre de Bruxelles. E-mail: mbiro@ulb.ac.be

Resumen:

Presentamos experiencias y resultados de la iniciación de estudiantes de ingeniería en el campo de la robótica de enjambres. El trabajo se ha materializado como una línea de investigación que está apoyada de manera conjunta por IRIDIA, el laboratorio para la Inteligencia Artificial de la Université libre de Bruxelles, Bélgica, y la Universidad de Nariño, Colombia. Hemos encontrado en la robótica de enjambres un contexto apropiado para formar a la creciente generación de entusiastas de la robótica (Hamann et al., 2018).

La robótica de enjambres (Dorigo et al., 2014) es el estudio de cómo diseñar grandes grupos de robots que operan de una forma coordinada y cooperativa. En este sentido, un enjambre de robots es un sistema multi-robot equipado con inteligencia colectiva artificial. Investigadores comúnmente toman inspiración de insectos sociales para diseñar los enjambres de robots. Los robots de un enjambre son relativamente simples, su operación se basa en comportamientos reactivos, tienen su fortaleza en el gran número de unidades, y pueden operar sin un robot líder o el apoyo de infraestructura externa. Estas características permiten obtener propiedades deseables como la escalabilidad, flexibilidad, y tolerancia a fallos del sistema.

Discusiones recientes prevén que la siguiente década estará marcada por un cambio de enfoque de la robótica hacia aplicaciones apropiadas para la operación de grandes grupos de robots (Dorigo et al., 2020)—por ejemplo, agricultura de precisión y monitorización ambiental. Sin embargo, la mayoría de los avances aún se realizan con sistemas de un solo robot. El problema es que diseñar un enjambre es particularmente desafiante: el sistema no puede ser programado directamente. Aunque el comportamiento colectivo deseado se define de manera global, los robots deben ser programados individualmente. El desafío recae en que no existe un método general para saber lo que debe hacer el individuo para que el comportamiento colectivo emerja (Brambilla et al., 2013). En la mayoría de los casos, los investigadores se basan solo en su propia experiencia y en procesos de ensayo y error para producir el comportamiento colectivo deseado.

Actualmente, investigadores promueven la adopción de principios de ingeniería en la realización de enjambres de robots (Dorigo et al., 2020; Brambilla et al., 2013). La aplicación de metodologías de ingeniería facilita la realización de enjambres más predecibles, reproducibles y eficientes. Es en este tema en el que enfocamos nuestra nueva línea de investigación. Tenemos dos objetivos: (i) formar nuevos ingenieros e investigadores con enfoque en el diseño de robots móviles y enjambres de robots; y (ii) contribuir al campo de la robótica de enjambres produciendo nuevas herramientas ingenieriles para diseñar, monitorizar y analizar comportamientos colectivos. Primeros resultados de nuestro trabajo son prometedores: estudiantes que trabajan en la línea de investigación han participado en una competición internacional de robótica de enjambres y han producido prototipos de algunas herramientas que apoyarán sus experimentos en un futuro cercano. Esperamos que, en

el largo plazo, nuestra colaboración académica pueda llevar a avances significativos en este campo de investigación—por ejemplo, la concepción de métodos para el diseño automático de enjambres de robots que no dependan de la pericia del investigador (Birattari et al., 2019).

Palabras Clave:

Robótica de enjambres, inteligencia colectiva, diseño automático, ingeniería, colaboración académica.

Aplicación e impacto:

La robótica de enjambres es un enfoque prometedor para la coordinación de grandes grupos de robots. Originalmente inspirados en insectos sociales, investigadores diseñan enjambres de robots relativamente simples que pueden cooperar. Como resultado de una colaboración académica, hemos iniciado una línea de investigación en donde estudiantes de ingeniería aprenden cómo investigar y diseñar robots móviles y enjambres de robots.

Créditos:

El proyecto ha recibido financiación del Consejo Europeo de Investigación (ERC) en el marco del programa European Union's Horizon 2020 (*DEMIURGE* Project, No 681872) y de Belgium's Wallonia-Brussels Federation a través de ARC Advanced Project *GbO–Guaranteed by Optimization*. DGR reconoce el apoyo del Ministerio Colombiano de Ciencia, Tecnología e Innovación–Minciencias. MB reconoce el apoyo de *Fonds de la Recherche Scientifique–FNRS* en Bélgica.

Contribución de los autores:

El manuscrito fue preparado por DGR. Todos los autores contribuyeron a la elaboración de las ideas presentadas en el artículo.

Referencias:

Birattari, M., Ligot, A., Bozhinoski, D., Brambilla, M., Francesca, G., Garattoni, L., Garzón Ramos, D., Hasselmann, K., Kegeleirs, M., Kuckling, J., Pagnozzi, F., Roli, A., Salman, M., & Stützle, T. (2019). Automatic off-line design of robot swarms: a manifesto. *Frontiers in Robotics and AI*, 6:59

Brambilla, M., Ferrante, E., Birattari, M. & Dorigo, M. (2013). Swarm robotics: A review from the swarm engineering perspective. *Swarm Intelligence*, 7(1):1-41

Dorigo, M., Birattari, M. & Brambilla, M. (2007). Swarm robotics. *Scholarpedia*, 9(1):1463

Dorigo, M., Theraulaz, G., & Trianni, V. (2020). Reflections on the future of swarm robotics. *Science Robotics*, 5:eabe4385

Hamann, H., Pinciroli, C. & von Mammen, S. (2018). A Gamification Concept for Teaching Swarm Robotics. *12th European Workshop on Microelectronics Education (EWME 2018)*. NJ, USA: IEEE press

INTRODUCING SWARM ROBOTICS TO ROBOTICS ENTHUSIASTS: EXPERIENCES AND RESULTS OF AN ACADEMIC COLLABORATION

Abstract:

We present experiences and results of the initiation of engineering students into the field of swarm robotics. The work has materialized in a research line that is jointly supported by IRIDIA, the Artificial Intelligence laboratory of the Université libre de Bruxelles, Belgium, and the Universidad de Nariño, Colombia. We find in swarm robotics an appropriate context for educating a largely growing new generation of robotics enthusiasts (Hamann et al., 2018).

Swarm robotics (Dorigo et al., 2014) is the study of how to design large groups of robots that operate in a coordinated and cooperative manner. In this sense, a robot swarm is a multi-robot system that is endowed with artificial collective intelligence. Researchers often take inspiration from social animals—specially insects—to design robot swarms. Like social insects, robots in a swarm are relatively simple, they rely mostly on reactive behaviors, have their strength in their large numbers, and can operate without a robot leader or the support of external infrastructure. These characteristics enable desirable system properties, such as scalability, flexibility, and fault tolerance.

Recent discussions foresee that the next decade will see a shift in the focus of robotics towards applications suited for large groups of coordinated robots (Dorigo et al., 2020)—e.g., precision agriculture, ecological monitoring, and city cleaning. Yet, despite the potential of swarm robotics to transform the realization of robotics systems, most robotics advances are still achieved with single robots, or with a few of them in rare cases. The problem is that designing a robot swarm is particularly challenging. A robot swarm cannot be programmed directly. Although the desired collective behavior is defined at the global level, the robots must be programmed individually. The challenge of designing a robot swarm is that no generally applicable method exists to tell what an individual robot should do, so that a desired collective behavior emerges (Brambilla et al., 2013). In most cases, researchers rely on their experience and in a trial-and-error process to produce the desired collective behavior.

Today, swarm robotics researchers promote the adoption of engineering principles in the realization of robot swarms (Dorigo et al., 2020; Brambilla et al., 2013). The application of engineering methodologies can facilitate the realization of robot swarms that are more predictable, reproducible, and efficient. This is the topic we address in our new research line. Our objective is two-fold: (i) to form new robotics engineers with a focus on researching and engineering mobile robots and robot swarms; and (ii) to contribute to the field of swarm robotics by providing new engineering tools to design, monitor, and analyze collective behaviors. Early results of our work are promising and show the potential to attain to our objectives: students taking part in the research line have participated in an international swarm robotics competition and have also produced some prototypes of tools that will support their experiments in a near future. We envision that, in the long-term, our academic collaboration can lead to important advances to the domain—for example, the conception of engineering-based automatic methods to design robot swarms requiring no human intervention or expertise (Birattari et al., 2019).

Keywords:

Swarm robotics, collective intelligence, automatic design, engineering, academic collaboration.

Take home message:

Swarm robotics is a promising approach to the coordination of large groups of robots. Originally inspired by social insects, researchers design swarms of relatively simple robots that can cooperate. Designing these systems is challenging and requires the application of engineering principles to bootstrap their development. As a result of academic collaboration, we have started a research line where engineering students learn how to research and engineer mobile robots and robot swarms.

Acknowledgements:

The project has received funding from the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (*DEMIURGE* Project, No 681872) and from Belgium's Wallonia-Brussels Federation through the ARC Advanced Project *GbO–Guaranteed by Optimization*. DGR acknowledges support from the *Colombian Ministry of Science, Technology and Innovation–Minciencias*. MB acknowledges support from the Belgian *Fonds de la Recherche Scientifique–FNRS*.

Author contributions:

The manuscript was prepared by DGR. All the authors contributed to the elaboration of the ideas presented in the paper.

References

- Birattari, M., Ligot, A., Bozhinoski, D., Brambilla, M., Francesca, G., Garattoni, L., Garzón Ramos, D., Hasselmann, K., Kegeleirs, M., Kuckling, J., Pagnozzi, F., Roli, A., Salman, M., & Stützle, T. (2019). Automatic off-line design of robot swarms: a manifesto. *Frontiers in Robotics and AI*, 6:59
- Brambilla, M., Ferrante, E., Birattari, M. & Dorigo, M. (2013). Swarm robotics: A review from the swarm engineering perspective. *Swarm Intelligence*, 7(1):1-41
- Dorigo, M., Birattari, M. & Brambilla, M. (2007). Swarm robotics. *Scholarpedia*, 9(1):1463
- Dorigo, M., Theraulaz, G., & Trianni, V. (2020). Reflections on the future of swarm robotics. *Science Robotics*, 5:eabe4385
- Hamann, H., Pincioli, C. & von Mammen, S. (2018). A Gamification Concept for Teaching Swarm Robotics. *12th European Workshop on Microelectronics Education (EWME 2018)*. NJ, USA: IEEE press