



CHRS

2. LE PROTOTYPE DE ROBOT-INSECTE du projet français OVMI (projet ANR *Objet Volant Mimant l'Insecte*, <http://ovmi.iemn.univ-lille1.fr/>, de 2005 à 2008) a une envergure de 3,5 centimètres. Le mode d'actionnement de ses ailes est électromagnétique. Les programmes de l'ANR intitulés EVA (*Entomoptère Volant Autonome*) et IN-ART (*Insecte ARTificiel volant*) poursuivent ces travaux en utilisant des muscles artificiels.

répartir efficacement les tâches et de prospérer même si une partie des individus échouent. Des essaims de petits robots agiles et éventuellement jetables donneraient lieu à de nombreuses applications nouvelles – inspection de lieux dangereux ou difficiles d'accès, pollinisation, localisation de rescapés, etc.

Depuis le début des années 1990, les chercheurs informaticiens travaillant dans le domaine de « l'intelligence en essaim » ont conçu de nombreux algorithmes de coordination puissants inspirés par les insectes sociaux – depuis les stratégies de recherche coordonnée jusqu'au partage intelligent du travail. Mais même avec ces algorithmes, des essaims de robots ne peuvent pas être gérés à la façon d'un robot unique.

La programmation et le raisonnement au niveau des individus deviennent impossibles avec des milliers d'entités. Ce serait comme demander à un développeur de logiciels de s'asseoir à son bureau et de rédiger des instructions gérant chaque bit physique d'un ordinateur. Au lieu de cela, tout comme les compilateurs traduisent les instructions d'un programme informatique écrit dans un langage compréhensible par un humain en une suite de 0 et de 1 qui commandent les transistors d'un microprocesseur, il nous faut un moyen de programmer à un niveau supérieur, c'est-à-dire de programmer la colo-

nie comme un tout – une façon de traduire des instructions globales en programmes comportementaux individuels. Autrement dit, nous avons besoin d'un langage de programmation pour colonies.

Quel est le bon langage capable de saisir ce que font les colonies d'abeilles domestiques et ce que nous souhaitons faire avec les colonies de robots-abeilles ? Il n'existe pas encore de réponse simple, mais, pour débiter, nous avons développé deux langages abstraits. Dans le langage

**IL DEVIENT IMPOSSIBLE
de programmer, à l'échelle des individus,
une ruche de plusieurs milliers de minirobots.**

Karma, on peut spécifier un organigramme de tâches que doit accomplir la colonie. Cet organigramme contient des liens représentant des conditions qui déclenchent de nouvelles tâches. Le système *Karma* utilise des informations en provenance des individus pour ajuster l'affectation des ressources aux différentes tâches, d'une façon qui reproduit le rôle de la ruche dans les colonies d'abeilles réelles.

Une approche différente, nommée OptRAD (pour *Optimizing Reaction-Advection-Diffusion*), traite la colonie de robots aériens comme un fluide qui diffuse dans l'environnement. Chaque robot-abeille utilise un algorithme probabiliste pour

déterminer s'il va exécuter une tâche, en se fondant sur l'état actuel de l'environnement. Traiter le système comme un fluide permet à OptRAD de raisonner, à un niveau supérieur, sur les résultats attendus et d'ajuster le comportement du système pour qu'il s'adapte à de nouvelles circonstances.

Nous avons aussi beaucoup à apprendre sur la construction et la mise en service d'une grande colonie de robots, qui ne contient pas des dizaines ou des centaines de robots autonomes, mais des milliers. Avec de tels nombres, faire fonctionner ces robots au niveau des individus devient impossible. Imaginons que chaque robot ait un interrupteur marche-arrêt : s'il fallait cinq secondes pour allumer chacun d'eux, alors mettre en marche 1 000 robots prendrait près d'une heure et demie. Des contraintes similaires s'appliquent à chaque élément, du coût jusqu'à la maintenance – chaque robot doit être bon marché, facile à fabriquer et à faire fonctionner de façon collective. Idéalement, chaque opération doit être mesurable – elle devrait nécessiter une durée constante, qui n'augmente pas avec la taille de la ruche (ou du moins qui n'augmente que très lentement).

Ces défis nous ont incités à créer le système *Kilobot* – un ensemble d'une centaine de robots, chacun de la taille d'une pièce de monnaie, qui se déplacent par vibration et qui communiquent avec d'autres Kilobots voisins. Nous pouvons utiliser cet essaim de minirobots pour tester l'efficacité de nos langages de programmation et de nos modèles mathématiques de comportement émergent. Après tout, si nous n'agissons pas avec du matériel bien réel, nous avons peu de chances de comprendre le comportement émergent des systèmes physiques.

L'essaim de Kilobots peut être utilisé pour tester de nombreux comportements collectifs que nous souhaiterions finalement voir adopter par nos colonies de robots-abeilles. Par exemple, nous pouvons demander à l'essaim de rechercher des cibles dans un environnement donné, puis, une fois que l'un des Kilobots a trouvé une cible, lui demander de rapporter sa localisation à l'ensemble de l'essaim. Nous avons aussi fait en sorte que notre conception du Kilobot soit disponible pour d'autres équipes de chercheurs souhaitant construire leurs propres robots. On peut également se procurer des Kilobots préfabriqués auprès de

K-Team, une société de robotique. Nous espérons que ce type de « kit » robotique standardisé fera émerger de nouvelles idées et amènera des progrès scientifiques qu'une seule équipe ne peut pas réaliser seul – après tout, nous aussi, nous dépendons d'une énergie collective pour devenir plus que la somme de nos constituants.

Une technologie mûre d'ici une quinzaine d'années ?

Bien que de nombreux progrès aient été accomplis, il nous reste encore beaucoup de travail. Nous pensons que d'ici quelques années, nous disposerons de robots-abeilles volant dans des conditions de laboratoire étroitement contrôlées. Cinq à dix ans plus tard, vous pourrez sans doute les voir couramment utilisés.

En 1989, le roboticien d'origine australienne Rodney Brooks a écrit un article

sur les avantages des petits robots pour l'exploration spatiale, intitulé *Fast, Cheap, and Out of Control : A Robot Invasion of the Solar System* (solide, bon marché et autonome : une invasion du Système solaire par des robots). Il s'agit, bien sûr, d'un clin d'œil au vieil adage des ingénieurs selon lequel les produits de grande consommation peuvent être caractérisés typiquement par deux – mais pas trois – des adjectifs suivants : solide, bon marché et fiable. Avec de nombreux individus, l'absence d'une de ces caractéristiques n'a guère d'importance.

R. Brooks était prophétique dans son interprétation de ce concept dans le domaine de la robotique. À condition que nous puissions fabriquer de nombreux robots simples qui collaborent avec efficacité, peu importe si certains individus échouent de temps en temps. La seule façon d'assurer le succès des explorateurs robotisés est de leur permettre, occasionnellement, de tomber du ciel ! ■

■ SUR LE WEB

Envol de *Robobees* : www.ScientificAmerican.com/mar2013/robobees

Vidéos *YouTube* du Laboratoire de microrobotique de Harvard : www.youtube.com/MicroroboticsLab

universcience présente

conférences

Palais DÉCOUVERTE **cité des sciences & de l'industrie**

journées masse des corps

entrée libre

au Palais de la découverte

Samedi 20 avril à 14h

Boson de Higgs : la genèse d'une découverte

Jean Iliopoulos et Achille Stocchi retracent l'épopée de la découverte du boson de Higgs. Des démonstrations effectuées en direct sur les détecteurs du Palais de la découverte illustreront leurs propos.

→ Salle de conférence du Palais de la découverte

à la Cité des sciences et de l'industrie

Vendredi 19 avril à 18h

Masse des corps : du Higgs à la matière noire

En quoi la découverte du boson de Higgs modifie notre compréhension de la masse. Étienne Klein et Marc Lachièze-Rey vous l'expliquent.

→ Auditorium de la Cité des sciences et de l'industrie

Avec le soutien de

SCIENCE VIE **culture plus**

programme complet sur www.universcience.fr