

ОБ ОДНОМ БИОИНСПИРИРОВАННОМ ПОДХОДЕ К ОРИЕНТАЦИИ РОБОТОВ

Карпова И.П.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва
karpova_ip@mail.ru*

В качестве одного из подходов к решению задач групповой робототехники уже довольно давно используются биоинспирированные модели и методы. Одним из наиболее перспективных направлений в этом плане является применение моделей социального поведения (МСП) (Карпов, Карпова, Кулинич, 2019). В основе этого подхода лежит изучение моделей поведения социальных насекомых, в первую очередь, муравьев, формализация этих моделей и их использование для организации коллектива роботов.

В настоящее время разработан целый ряд моделей, методов, алгоритмов, исследованы отдельные феномены поведения муравьев как социальных животных. Необходима некоторая комплексная задача, которая может быть решена в рамках данного подхода. В таком качестве было рассмотрено моделирование системы фуражировки. Это стратегическая задача, так как при ее решении с использованием семьи муравьев как модельного объекта решаются также задачи разведки, мониторинга территории, создается основа для охраны территории (Малышев, Бургов, 2020). Разведка – этап процесса фуражировки у семьи муравьев (Федосеева, 2015). Охрана территории рассматривается, как результат увеличения численности действующих особей на территории (динамической плотности) (Захаров, 1991).

Моделирование фуражировки предлагается на основе технологического подхода к ее описанию (Федосеева, 2015). Выделяются следующие стадии фуражировки:

1. Разведка – разрозненное обследование кормового участка немногими фуражирами.
2. Активация – процедура стимуляции разведчиками внутригнездовых особей.
3. Наведение – массовый выход рабочих из гнезда к найденному источнику ресурсов.
4. Транспортировка – перемещение пищи в гнездо.
5. Насыщение – снижение фуражировочной активности семьи.

На первый взгляд, при наличии разработанного базиса моделей поведения в моделировании системы фуражировки нет ничего сложного. Сам процесс фуражировки хорошо описан, он включает в себя модели и механизмы, ранее уже разработанные и реализованные в рамках МСП для более простых задач. И достаточно взять эти механизмы, объединить их и получить желаемый результат. Но оказывается, что самым сложным здесь является решение базовой задачи ориентации с запоминанием и воспроизведением маршрута, а также с возможностью передачи описания маршрута от одной особи другой (Reznikova, 2008). Существующие модели, см. обзор в (Карпова, 2022), позволяют роботу запомнить образ маршрута, но они не предполагают передачу образа маршрута между роботами, хотя бы в силу большого объема такого образа.

Итак, для реализации фуражировки сначала необходимо «научить» аниматоров ориентироваться – запоминать маршрут во время движения, возвращаться в гнездо и повторять маршрут, а также передавать описание маршрута другим особям, чтобы те могли пройти по нему самостоятельно. В основе такого способа ориентации должны лежать механизмы, подобные тем, что используют муравьи. Необходимо отметить, что в данном исследовании механизм навигации муравьев рассматривается упрощенно и с внешней, феноменологической точки зрения. Здесь не ставится задача предложить имитационную модель, которая бы учитывала морфологические и анатомические особенности муравьев.

Способы навигации, ориентации, а также передачи сигналов у муравьев имеют видовую специфику. В ряде робототехнических работ в качестве основного способа ориентации муравьев на кормовом участке рассматривается феромонный след. Однако

аналоги этого механизма весьма сложны (трудоемки) для реального моделирования. Кроме того, данный механизм играет важную роль при мобилизации и организации движения по дорогам (у ряда видов муравьев), а разведка должна осуществляться и без него. В данной работе делается акцент на основных принципах ориентации одиночных фуражиров (или действующих в малых группах) видов-герпетобионтов:

1. При перемещении на местности многие муравьи используют свето-компасную ориентацию, одометрическую информацию («шагомер») и систему интеграции пути (Cruse, Wehner, 2011).

2. «Компас» и «шагомер» подвержены кумулятивным ошибкам, поэтому для навигации муравьи также используют визуальные ориентиры. Более того, для опытных фуражиров информация, предоставляемая ориентирами, доминирует над информацией от системы интеграции пути в случае их конфликта (Wystrach, Graham, 2012).

3. Муравьи ряда видов ведут себя так, как будто они запоминают образы сцен с ориентирами, видимых с определенных точек обзора, и сохраняют эти образы в памяти. Затем при повторном приближении к ориентиру они сравнивают сохраненные «снимки» с текущими, пытаясь занять ту же самую позицию (Wehner, 2009). Судя по поведению муравья при запоминании сцены, он осматривает составляющие ее ориентиры, выбирает один (основной), а затем обходит его справа или слева. Это предположение подтверждается тем, что при повторном прохождении этого маршрута муравей стремится обойти знакомый ориентир с той же стороны, даже если ориентир переместили левее или правее начального положения (Wystrach и др., 2011).

4. Вероятно, некоторые муравьи различают два типа ориентиров, которые можно назвать *локальными* и *путевыми* (Cruse, Wehner, 2011). Первые расположены вблизи гнезда и около постоянных кормовых участков, вторые – на пути к кормовому участку или обратно. Обнаружение путевого ориентира заставляет муравья поворачивать под нужным углом и продолжать движение. Обнаружение локального ориентира запускает процедуру *систематического поиска*: муравей знает, что гнездо (или пища) находятся рядом, и начинает методично кружить вокруг этого места, пока не найдет искомое.

5. Если во время прохождения маршрута пассивный фуражир видит искомый объект (пищу или другой ресурс), он прекращает движение по маршруту и идет к объекту, чтобы взять его и перенести в гнездо. Таким образом, маршрут может быть пройден не до конца.

Под *сценами* понимается множество одновременно видимых аниматом ориентиров с учетом их взаимного расположения. При запоминании сцены также сохраняется направление по компасу самого анимата и количество «шагов», которые он затратил на переход к следующей сцене. Исходя из этого и опираясь на особенности навигации муравьев, *общий алгоритм* действий анимата-разведчика (активного фуражира) представляется таким:

1. Анимат-разведчик начинает путь от «гнезда», используя компас. Если он не видит ни одного путевого ориентира, он идет вперед, пока не увидит хотя бы один ориентир.
2. Если в процессе перемещения анимат видит искомый объект, он запоминает текущую сцену как элемент маршрута, подходит к объекту и переходит к п.б.
3. Из видимых ориентиров он выбирает основной ориентир, направление его обхода (слева или справа) и запоминает сцену как элемент маршрута.
4. Анимат совершает обход основного ориентира.
5. Если после завершения обхода основного ориентира он видит хотя бы один новый ориентир, он переходит к п. 3. Если не видит ни одного, совершает поворот до тех пор, пока не увидит подходящий ориентир.

6. После нахождения пищи анимат трансформирует описание запомненного им маршрута в обратный путь и возвращается в «гнездо». Там он или мобилизует пассивных фуражиров и ведет их за собой, или передает им описание маршрута.

Анимат-фуражир, получив описание маршрута, действует по похожему алгоритму, но не ищет новый ориентир, а сопоставляет сцены из маршрута с тем, что видит вокруг себя. Для реализации такого поведения анимат должен «уметь» перемещаться, иметь компас и локатор, который реализует систему зрительного восприятия. Также он должен иметь память для хранения маршрута. При этом мир анимата разбивается на клетки, размер которых определяется характерным линейным размером робота (модельным или реальным). Такие условные единицы являются удобными для описания поведения анимата и позволяют абстрагироваться от количественных значений физических параметров. С помощью локатора анимат распознает объекты, которые находятся в области его видимости, но вместо числовых физических величин оперирует понятиями "объект находится близко слева" или "далеко справа-вперед".

Путь анимата рассматривается как последовательность сцен, образуемых ориентирами. Для каждой сцены запоминается основной ориентир, направление по компасу, а также количество тактов, которое потребовалось анимату, чтобы обойти этот ориентир и выбрать следующий. Так в модель вводится понятие времени, которое привязано не столько к тактам (шагам анимата), сколько к изменению его состояния относительно окружающей среды (завершение одного отрезка пути и переход к следующему). Далее вводится понятие ориентира как компактной группы объектов, расположенных близко друг к другу; определяются атрибуты объектов и варианты их идентификации. И объекты, и ориентиры не являются уникальными, они могут повторяться, поэтому анимат и занимается сопоставлением сцен. Предложена процедура сопоставления сцен, учитывающая основной ориентир и его контекст, т.е. ориентиры слева и справа от основного. Сходство ориентиров определяется как величина, обратная расстоянию между ними в некотором метрическом пространстве, которое образовано биполярными шкалами для атрибутов объектов. И окончательно для определения степени сходства сцен используется линейная свертка критериев. Отметим, что принцип передачи описания маршрута во многом является искусственным.

Управление поведением анимата осуществляется на основе конечных автоматов с выходом. Архитектура системы управления является трехуровневой. Мета-автоматы отвечают за последовательности действий анимата, например, движение к ориентиру с обходом препятствий. Выходом мета-автоматов является запуск автоматов нижнего уровня, отвечающих за элементарные действия. Мета-мета-автомат управляет поведением в целом, его задача – запускать мета-автоматы. При такой архитектуре можно относительно просто изменять поведение анимата без изменения его структуры, базовых возможностей и самой моделирующей программы.

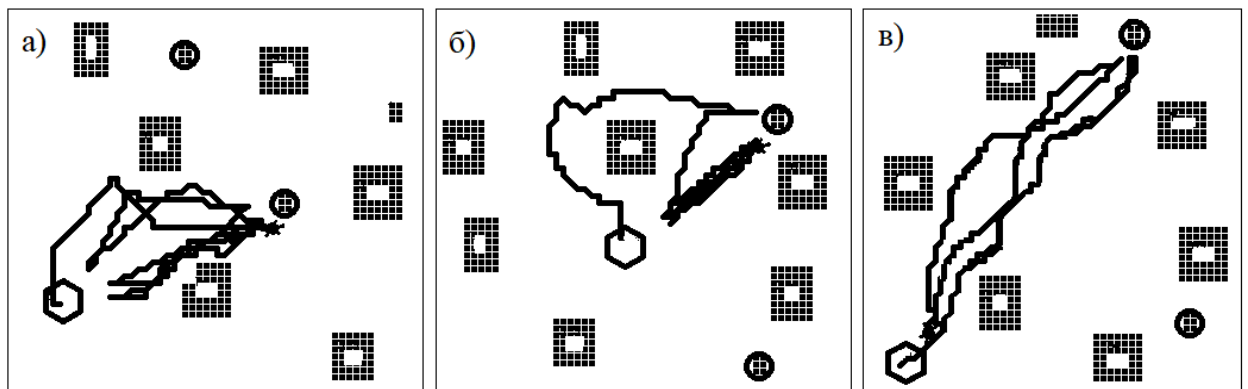


Рис. 1. Примеры результатов моделирования: "спрямление" пути

С помощью системы моделирования Кворум (Карпов, Ровбо, Овсянникова, 2018) проведено две серии экспериментов по моделированию одиночной фуражировки и с передачей описания маршрута от разведчика фуражиру. На Рис.1 приведены примеры результатов моделирования, демонстрирующие спрямление пути, характерное для многих видов муравьев при многократном повторении пути к одному и тому же источнику пищи.

Итак, в данной работе создан и реализован механизм, имитирующий навигационное поведение некоторых видов муравьев-герпетобионтов, которое они демонстрируют в ходе фуражировки, и показано, что это можно сделать достаточно ограниченными средствами. Подробное изложение разработанного метода ориентации приведено в (Карпова, 2022).

Захаров А.А., 1991. Организация сообществ у муравьев. М.: Наука. 277 с.

Карпов В.Э., Карпова И.П., Кулинич А.А., 2019. Социальные сообщества роботов. М.: УРСС. 352 с.

Карпов В.Э., Ровбо М.А., Овсянникова Е.Е., 2018. Система моделирования поведения групп робототехнических агентов с элементами социальной организации Кворум // Программные продукты и системы. Т. 31. № 3. С. 581–590.

Карпова И.П., 2022. Об одном биоинспирированном подходе к ориентации роботов, или Настоящий «муравьиный» алгоритм // Управление большими системами. Т. 96. С. 69–117.

Мальшев А.А., Бургов Е.В., 2020. К вопросу о параметрах биоинспирированных моделей поведения при моделировании групповой фуражировки // Труды СПИИРАН. Т. 19. № 1. С. 79–103.

Федосеева Е.Б., 2015. Технологический подход к описанию групповой фуражировки муравьев *Myrmica rubra* // Зоологический Журнал. Т. 94. № 10. С. 1163–1178.

Cruse H., Wehner R., 2011. No need for a cognitive map: Decentralized memory for insect navigation // PLoS Comput. Biol. Vol. 7. No. 3.

Müller M., Wehner R., 1988. Path integration in desert ants, *Cataglyphis fortis*. // Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America. P. 5287-5290.

Reznikova Z., 2008. Experimental paradigms for studying cognition and communication in ants (Hymenoptera: Formicidae) // Myrmecological News. Vol. 11. P. 201-214.

Wehner R., 2009. The architecture of the desert ant's navigational toolkit (Hymenoptera: Formicidae). // Myrmecol News 12. P. 85-96.

Wystrach A. et al, 2011. Views, landmarks, and routes: How do desert ants negotiate an obstacle course? // J. Comp. Physiol. A Neuroethol. Sensory, Neural, Behav. Physiol. Vol. 197. No. 2. P. 167-179.

Wystrach A., Graham P., 2012. What can we learn from studies of insect navigation ? // Anim. Behav. Vol. 84. No. 1. P.13-20.

A BIOINSPIRED APPROACH TO ROBOT ORIENTATION

Карпова И.П.

National Research University Higher School of Economics

Summary

The paper proposes a method of using visual landmarks for memorizing the traversed path by a mobile robot (animate), based on the navigation mechanism of ants. The model of route presentation and the rules of its interpretation are described. This allows scouting robot to remember and repeat the route, and pass the route description to another robot. The results of experiments on simulation modeling demonstrate the possibility of using the developed method to solve the navigation problem during foraging.