

## **К ВОПРОСУ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ УСТОЙЧИВЫХ ГРУПП АНИМАТОВ<sup>1</sup>**

*НИУ ВШЭ, г. Москва,  
karpova\_ip@mail.ru*

### **Введение**

Данная работа является продолжением исследований в рамках подхода на основе моделей социального поведения животных применительно к решению задач групповой робототехники [1]. Общественные насекомые, в первую очередь, муравьи как животные с ярко выраженной социальностью являются наиболее подходящим объектом для изучения и подражания в групповой робототехнике [2].

Когда речь идет о совместных действиях большого количества роботов (сотен или тысяч), появляется множество проблем. В частности, роботы должны координировать свои усилия, что для распределенной системы без централизованного управления является достаточно сложной задачей. При этом на практике большинство текущих задач не требует участия всех аниматов или их существенной части. Некоторые задачи они в состоянии выполнить в одиночку, а чаще всего необходимо участие нескольких аниматов. И только в отдельных ситуациях возникает потребность в участии всех или существенной части.

Аналогичную ситуацию можно наблюдать и у муравьев [3]. Обследование кормового участка муравей-разведчик осуществляет в одиночку. Для переноса найденной пищи (или другого ресурса) разведчик мобилизует нескольких муравьев – так называемых пассивных фуражиров. А в исключительных случаях – при отражении нападения, при организации собственного нападения на соседнее гнездо, делении одного гнезда и два и некоторых других – происходит мобилизация большого количества муравьев (до нескольких тысяч).

Действие малыми группами имеет несомненные преимущества: 1) позволяет выполнить работу, которую не в состоянии сделать отдельный анимат; 2) обеспечивает управляемость группой с использованием исключительно локальной коммуникации; 3) поддерживает разделение труда между группами.

Условия существования и характеристики группы:

- наличие иерархических отношений внутри группы;

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 16-29-04412 оф-м.

- постоянный состав (на протяжении длительного периода времени);
- участие членов группы в совместной деятельности.

Возникает задача разбиения аниматов на группы без использования централизованных механизмов и алгоритмов.

### **Образование малых групп у общественных насекомых**

Источником подходов для наших моделей и методов служит поведение общественных насекомых, точнее, муравьев. В ходе наблюдений за муравьями нескольких родов было установлено, что для выполнения многих видов работ, относящихся к текущей внегнездовой деятельности, они объединяются в небольшие группы от 2-х до 4-х особей, чаще всего – в тройки [2].

Эти группы имеют иерархическую структуру. Во главе стоит  $\alpha$ -особь, которой подчиняются остальные члены группы. Далее по рангу –  $\beta$ -особь, которая является основным помощником  $\alpha$ . Остальные участники группы (при наличии) подчиняются  $\alpha$  и  $\beta$  и имеют одинаковый ранг, их называют пассивными фуражирами.  $\alpha$ -особь является муравьем-активатором любого вида деятельности. Обычно она относится к т.н. разведчикам: они исследуют территорию вокруг гнезда. Обнаружив на территории пищу или любой другой интересующий его ресурс, разведчик возвращается в гнездо и мобилизует особей своей группы в поход за этим ресурсом. В частности, такой подход обеспечивает разделение труда и уменьшение энергетических затрат на поиски ресурсов.

На самом деле, не все так просто и однозначно. Разведчик ( $\alpha$ -особь) может мобилизовать не только представителей своей группы, но и других пассивных фуражиров. С другой стороны, пассивный фуражир не всегда подчиняется своей  $\alpha$ -особи, и не только потому, что он в момент мобилизации находится в другом месте. Решение об участии или не участии в деятельности каждая особь принимает индивидуально, и зависит это не только от настойчивости (активности)  $\alpha$ -особи, но и от внутреннего состояния фуражира (устал, голоден, просто ленится и т.д.)

Также пассивный фуражир может переходить из одной группы в другую. При выбывании  $\alpha$ -особи группа может распаться, или  $\beta$ -особь может перейти на главенствующую роль в группе, а на место  $\beta$ -особи перейдет наиболее активный фуражир. (Возможны и другие варианты, [4]). Тем не менее, на основании этих наблюдений можно говорить о существовании у муравьев относительно устойчивых малых групп.

### **Методы образования устойчивых групп аниматов**

Формирование устойчивой малой группы возможно только в процессе совместной деятельности. Род этой деятельности в общем случае

не важен. Важно то, что особи длительное время находятся рядом и запоминают друг друга. Будем считать, что продолжительное нахождение рядом является признаком совместной деятельности.

Муравьи умеют опознавать друг друга персонально [4]. По запаху муравьи различают своих и чужих: все особи одного гнезда имеют почти идентичный запах, который отличается от запаха особей другого гнезда. Но для индивидуального распознавания этого недостаточно, и здесь существенную роль, судя по всему, играет зрение [5].

Необходимо имитировать идентификацию аниматами друг друга, по возможности, простым способом. Для упрощения технической реализации будем считать, что совокупность запаха и внешнего вида муравья образуют некую уникальную сигнатуру, аналогом которой в нашем случае будет уникальный номер – идентификатор анимата. Этот номер генерируется автоматически в начале работы, и аниматы могут обмениваться значениями своих идентификаторов.

Устойчивость группы не в последнюю очередь определяется когезией – стремлением особей одного вида держаться вместе [4]. В ситуации выделения устойчивых групп когезия выражается в следующем: при определении того, с кем рядом хочет находиться особь, она отдает предпочтение членам своей группы. Таким образом, можно говорить о возникновении положительной обратной связи: совместная деятельность ведет к образованию группы, члены группы запоминают друг друга и стремятся держаться вместе, совместное нахождение повышает вероятность совместной работы.

После мобилизации фуражиров характер выполняемых ими действий по решению общей задачи зависит от предыдущего опыта или вырабатывается в результате подражательного поведения, но обсуждение этого выходит за рамки данной работы. Предположим, что мобилизованные фуражиры имеют некоторый опыт участия в совместной деятельности и действуют на основе этого опыта.

Теперь рассмотрим феномен доминирования. Оно тоже является необходимым условием существования группы, т.к. обеспечивает ее управляемость: доминант ставит задачу, члены группы ее решают. В [6] была рассмотрена модель агрессивного поведения (АП), которая позволяет реализовать доминирование как вид социального поведения. Эта модель базируется на результатах исследований по проявлению агрессии у муравьев. Модель учитывает потребность в доминировании, уровень агрессивности, правила выбора действий анимата. В данной задаче будет использован этот же механизм.

Для организации устойчивой группы аниматы должны обладать памятью. Существуют различные подходы к реализации памяти анимата: нейросетевой [7], реляционный [8] и др. В нашем случае реализация

памяти не является самоцелью, поэтому мы воспользуемся относительно простым способом организации памяти на основе стека:

$$S = (N, \{a_i, w_i\}) \quad (1)$$

Стек  $S$  имеет ограниченный размер  $N$ , и для каждого запомненного анимата  $a_i$  хранит его вес  $w_i$ . Вес увеличивается на  $\delta^+$  за каждый такт, в течение которого анимат  $a_i$  виден, и уменьшается на  $\delta^-$ , если анимат  $a_i$  не виден. Это позволяет имитировать забывание.

На каждом шаге любой анимат может выбрать лидера, за которым он будет следовать, образуя группу. Он выбирает их среди тех аниматов, которых он видит и у которых ранг выше, чем у него самого. Ранг увеличивается пропорционально количеству найденной аниматом пищи. Для обеспечения устойчивости группы введены такие правила:

- 1) анимат выбирает нового лидера, если не видит предыдущего;
- 2) если анимат следует за лидером, его ранг уменьшается.

### Результаты моделирования

Для подтверждения работоспособности предложенного метода было проведено имитационное моделирование с использованием системы многоагентного моделирования Kvozum [9]. Полигон, по которому перемещались аниматы, имел форму тора (Рис. 1). Была проведена серия экспериментов из 20 запусков по 100 тактов модельного времени. Усредненные результаты экспериментов приведены в Таблице 1. На Рис. 1 показаны графики зависимости времени пребывания в группе (Group) и времени, в течение которого анимат является лидером группы (Lider) от ранга анимата (ось R).

Таблица 1. Усредненные результаты моделирования

Показатель	Значение
Среднее время пребывания анимата в группе	38 %
Среднее время пребывания анимата в лидерах группы	17,2 %
Среднее время существования группы	12,1 такта
Среднее количество переходов между группами	3,5

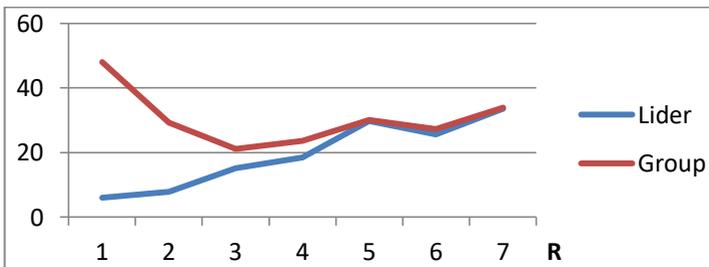


Рис. 1. Зависимость от ранга времени пребывания в группе, в лидерах

## Заключение

Результаты экспериментов показали, что предложенный метод позволяет разбить аниматов на группы, которые являются относительно устойчивыми: среднее время существования группы – 12 тактов, среднее количество аниматов в группе – 2,25. Наблюдается достаточно четкая зависимость между временем, в течение которого анимата считают лидером группы, и его рангом (график *Lider* на Рис.1). При этом анимат А считается лидером только тогда, когда другие аниматы признают его лидером и следуют за ним.

Данный подход может применяться для формирования устойчивых групп аниматов (роботов) при решении различных задач, требующих объединения усилий нескольких аниматов.

1. *Карпов, В.Э.* Модели социального поведения в групповой робототехнике / В.Э. Карпов // Управление большими системами. – 2016. № 59. – с. 165-232.
2. *Богатырева, О.А.* Муравьи и роботы в мире, полном неопределенности: природа адаптивности группы / О.А. Богатырева, Н.Р. Богатырев // Муравьи и защита леса. Материалы XIV Всероссийского мирнекологического симпозиума, Москва, 19-23 августа 2013 г. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. – с. 14-20.
3. *Захаров, А.А.* Муравьи лесных сообществ, их жизнь и роль в лесу / А.А. Захаров. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2015. – 404 с.
4. *Захаров, А.А.* Поведенческая организация семьи у муравьев / А.А. Захаров // Чтения памяти Н.А. Холодковского. – Л.: Наука, 1981. – с. 34-58.
5. *Cammaerts, M.* Are Ants (Hymenoptera, Formicidae) Capable of Self Recognition? / M. Cammaerts, R. Cammaerts // Journal of Science. – 2015. Вып. 5,– № 7. – с. 521-532.
6. *Карпова, И.П.* Агрессия в мире аниматов, или О некоторых механизмах управления агрессивным поведением в групповой робототехнике / И.П. Карпова, В.Э. Карпов // Управление большими системами. – 2018. Вып. 76. – с. 173-218.
7. *Анохин, К.В.* Проект “Мозг Анимата”: разработка модели адаптивного поведения на основе теории функциональных систем / К.В. Анохин [et al.] // Восьмая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. – Москва: Физматлит, 2002. – с. 781–789.
8. *Демин, А.В.* Логическая модель адаптивной системы управления / А.В. Демин, Е.Е. Витяев // Нейроинформатика. – 2008. Вып. 3, № 1. – с. 79-107.
9. *Карпов, В.Э.* Система моделирования поведения групп робототехнических агентов с элементами социальной организации Кворум / В.Э. Карпов, М.А. Ровбо, Е.Е. Овсянникова // Программные продукты и системы. – 2018. Вып. 31, № 3. – с. 581-590.