

МОДЕЛЬ РОЕВОГО ХАОСА РОБОТОВ

SWARM ROBOTS CHAOS MODEL

К. Попко

Annotation

This paper raises the question of whether robots that do not have sophisticated computing devices form a group system. As an example, consider a model swarm chaotic swarm of robots and their velocity distribution at the beginning of the whole system. In this paper the mathematical model of the swarm, consisting of agents that can be distinguished from each other elastically to move off from a neighboring robot and the initial point moving erratically. We consider an arbitrary distribution agents digging at a pre-determined (flat) area and the velocity distribution.

Keywords: Intelligent Agents (IA), Group behavior of robots (GBR), a swarm of robots.

Аннотация

В работе поднимается вопрос о том, могут ли роботы, не обладающие сложными вычислительными устройствами образовывать групповые системы. В качестве примера рассматривается модель роевого хаоса роя роботов и их распределение по скоростям в момент начала работы всей системы. В работе рассмотрена математическая модель роя, состоящего из агентов, способных отличать друг от друга, упруго отъезжать от соседнего робота и в первоначальный момент двигаться хаотично. Рассматривается произвольное распределение агентов роя на заданной (плоской) территории и их распределение по скоростям.

Ключевые слова:

Интеллектуальные агенты (ИА), групповое поведение роботов (ГПР), рой роботов.

В работе Варшавского В.И. и Поспелова Д.А. выдвигается идея о том, что механизмы, со временем, образуют техноценозы [1]. Эта идея легла в основу появившегося впоследствии термина – групповая робототехника.

Развитие и применение подобных систем в технике расширяется с каждым годом. Однако масштабное их применение сдерживается рядом ограничений. Одним из таких является вопрос отсутствия явного критерия когда систему можно считать системой с ГПР. Также использование ИА с ГПР, как правило предполагается с большим содержанием ИА. В связи с этим возникают трудности по обмену информации между агентами и способами управления всем роем. В данной статье высказывается идея о том, что в рое содержащем множество ИА, могут образовываться локальные объединения роботов. Подсистемы коллективного поведения в глобальном рое.

Утверждение №1: Среди всего многообразия групповых систем роботов можно выделить простейшую: в данной системе локальные интересы каждой подсистемы согласованы с глобальной.

Это простейший случай децентрализованной системы управления. Для такой системы попросту не нужна особая специализация подсистем управления. Если решение поставленной задачи не может быть решено отдельной подсистемой, то необходимо увеличить число подсистем. Такие системы достигают своих целей по принципу: "не

качеством, так количеством". Примерами реализации таких систем в живой природе могут являться стаи пчел или муравьев при решении задач связанных с переносом пищи, атака на врага, или косяк рыб при перемещении. Можно ли считать такую простую систему хорошо адаптируемой во внешней среде? Можно ли на ее основе создавать интеллектуально-адаптивные системы групповой робототехники? До сегодняшнего дня такие системы не представляли большого интереса. Но исследования японских биологов отчасти опровергают такое мнение. Автор проекта "Slimy" – Такуя Умедати (Такуя Umedachi) университета Хиросимы исследовал необычные способности слизевика *Physarum polycephalum* [2]. Его работы опирались на исследования еще одного японского профессора – Тосиюки Накагаки (Toshiyuki Nakagaki). Оба исследователя установили, что данный слизевик обладает примитивным интеллектом. Эти существа способны решать даже комбинаторные задачи. В организме этих существ реализована функция управления протоплазмой. Выбрасывая некоторую часть в направлении движения, он, после, подтягивает остальную часть тела. Ученые собрали модель миксомицета, в котором роль выбрасываемой протоплазмы выполняют механические осцилляторы. При этом реализуется полностью децентрализованное управление путем передачи сигналов соседним осцилляторам. Такая система позволяет каждому фрагменту робота влиять на положение и на реакцию осталь-

ных, при этом помимо внутренних сигналов, на систему в целом влияют и внешние раздражители (препятствия на пути следования или источники света). Данные модели не могут претендовать ни на что большее, как "модельный организм". Но данные исследования в целом направлены на доказательство того, что сложные и интеллектуальные роевые алгоритмы могут быть реализованы на "примитивном" уровне.

При разработке групп роботов с коллективным управлением (взаимодействием) определяющими факторами успешности проекта являются следующие критерии: минимизация и стоимость. На этот счет существует ряд мнений диаметрально противоположных друг другу. Так, считается, что групповое взаимодействие роботов невозможно, если каждая особь весьма "примитивна" в своей конструкции. Мнение это основано на утверждении о том, что коллективное взаимодействие возникает тогда, когда интеллектуальные агенты (ИА) обладают достаточными техническими и вычислительными ресурсами для индивидуального самосознания (И.С.) и общественного самосознания (О.С.) [3]. Это мнение небезосновательно, так как для организации обмена информацией между ИА, а также для обработки информации от соседних особей, необходимо наличие вычислительных устройств, а с ними и программ, с соответствующими алгоритмами по обработке этих данных. Данные алгоритмы должны способствовать быстрому анализу окружающей обстановки, внутреннего состояния систем робота и дальнейшему принятию решения о поведении данного ИА. Разработка соответствующего алгоритма сама по себе является нетривиальной задачей. Это связано не только с тем, что ИА придется выполнить краткосрочное действие, а с тем, что необходимо будет выявить целую сцену поведения в динамически меняющейся среде.

С другой стороны, как было показано в [1], организация группового поведения роботов (ГПР) основано на принципах масштабируемости относительно простых по конструкции машин, то есть решение задач может быть поручено большой совокупности простых роботов. Считается, что чем больше группа, тем более сложные задачи она способна решать. Но это утверждение предполагает и значительное снижение стоимости отдельно взятой особи группы.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в групповой робототехнике исторически сложились две проблемы по созданию больших групп роботов с коллективным взаимодействием:

1. проблема вычислительных возможностей отдельно взятого ИА;
2. проблема масштабируемости простых по конструкции ИА.

Означает ли это, что выявленные проблемы противоречат друг другу? Возможна ли организация ГПР при помощи простых ИА, но обладающих мощными вычислительными устройствами? Ведь наличие таких устройств,

заведомо усложняет конструкцию ИА, увеличивает его энергопотребление, а значит, уменьшает время на принятие решений, увеличивает массу, что снова ведет к усложнению систем передвижения роботов.

Одним из способов решения данных проблем, описываемых в работе, состоит в том, чтобы отказаться от принципа современного программирования ИА, состоящего в том, чтобы в алгоритмы ГПР и конструкцию электронных блоков роботов были заложены сложные, адаптивные функции, способствующие детальной оценке окружающей обстановки; детального изучения сцен поведения; принятия решения и отслеживания правильности этого решения. Стоит рассмотреть иной подход в создании ИА: с математической точки зрения, робот обязан действовать сообща в группе и при этом выполнять общие задачи. Действовать в группе означает, что ИА необходимо, как минимум, перемещаться в направлении общего вектора движения группы, а быть может, и действовать иррационально со всей стаей, обмениваться информацией с соседями, контролировать свое состояние и принимать такие решения, которые бы способствовали продвижению всей группы к достижению поставленных целей. В этой связи на первый план и выходят такие понятия, как И.С. и О.С. [3]. Но возможна ли групповая работа роботов без наличия сложных вычислительных устройств?

Анализ многочисленных систем ГПР выявил общую закономерность разработчиков создавать системы для решения задач группового движения, поиска объектов и другие. Но как ведут себя роботы от момента начала работы и до момента появления первых локальных групп?

Для решения выявленной проблемы предлагается следующая математическая модель роя роботов – гипотеза роевого хаоса. Предположим, существует множество ИА, способных передвигаться и, определяя наличие впереди себя объекта среды или иного ИА, упруго отъезжать от него. Для простоты модели рассмотрим поведение такого роя на плоской поверхности. Будем считать, что движение отдельных членов роя являются сугубо хаотичными. Это условие должно выполняться при первоначальном "распылении" роя на заданной территории и поиске цели, пока не установилось направленное движение агентов. Последнее приведет к тому, что направления скоростей ИА будут равновероятны для любого выбранного нами объема агентов. Таким образом, рой в первоначальном своем состоянии будет изотропен, и агенты будут быстро "забывать" свои предыдущие состояния, а значит, смогут многократно проходить в окрестностях ранее пройденных траектории.

Число ИА в элементе плоскости пространства скоростей $d^2V = dV_x dV_y$, равно:

$$dn_v = n\phi(\vec{V})d^2V. \quad (1)$$

Здесь n – полное число ИА в единице объема. Поэтому считаем, что:

$$\phi(\vec{V}) = f(V), \quad (2)$$

$$\text{где } V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}. \quad (3)$$

Предположим, что x -компонента имеет значение в интервале:

$$V_x = V_x + dV_x, \quad (4)$$

Так как скорости – случайные и независимые величины, то вероятность некоторой ИА обладать скоростью v равно:

$$dW(V_x; V_y) = \frac{dn_v}{n} = f(V) dV_x dV_y, \quad (5)$$

Так как

$$\frac{\partial V}{\partial V_x} = \frac{\partial \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{\partial V_x} = \frac{V_x}{V}, \quad (6)$$

тогда:

$$\frac{f'(V)}{f(V)} = \frac{\phi_1'(V_x)}{\phi_1(V_x)} \frac{\partial V}{\partial V_x} = \frac{\phi_1'(V_x)}{\phi_1(V_x)} \times \frac{V_x}{V}, \quad (7)$$

а значит:

$$\frac{1}{V} \times \frac{f'(V)}{f(V)} = \frac{\phi_1'(V_x)}{\phi_1(V_x)} \times \frac{1}{V_x}, \quad (8)$$

Так как правая часть не зависит от V_y , а левая содержит V_y и V_x , то обе части постоянны. В итоге получим выражение:

$$dn_v = nA^2 \exp(-aV^2) d^2V. \quad (9)$$

Запишем условие нормировки и найдем константу A , используя интеграл Пуассона:

$$A = \sqrt{\frac{a}{\pi}}, \quad (10)$$

С учетом (9) и (10) запишем распределение для вектора скорости:

$$dn_v = n \left(\sqrt{\frac{a}{\pi}} \right)^2 \exp(-aV^2) d^2V. \quad (11)$$

Для определения коэффициента α из (11) можно определить, воспользовавшись значением средней кинетической энергии робота. Применительно к каждому рою, вид функции средней кинетической энергии может ме-

няться. Но с уверенностью можно сказать, что эта величина зависит от частоты вращения двигателя робота. Так любой ИА, перемещающийся по плоскости, используя двигатель, может передвигаться на колесной базе или использовать вибрации (виброход), частота которого регулируется либо оператором, либо внешними условиями. Вид зависимости можно определить графически, построив функцию $f=f(v)$. Итак будем считать, что:

$$E_{:8=} = \frac{mf^2(v)}{2}. \quad (12)$$

Считаем? что $f=f(v)$ – не зависит от внешних условий. И равна:

$$f = 2\pi Rv, \quad (13)$$

где R – радиус колеса робота, а v – частота вращения колес.

Тогда используя (12) и (13) определим параметр α :

$$\frac{mf^2(v)}{2} = \frac{1}{n} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{mV_x^2}{2} nA^2 \exp(-aV_x^2) dV_x, \quad (14)$$

Тогда вернемся к уравнению (13) и определим коэффициент:

$$\frac{mf^2(v)}{2} = 2\pi^2 \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}} R^2 v^2. \quad (15)$$

$$\alpha = \frac{1}{4\pi^2 R^2 v^2}. \quad (16)$$

Окончательно запишем уравнение распределения ИА по скоростям в рою:

$$dn_v = n \frac{1}{4\pi^3 R^2 v^2} \exp\left(-\frac{V^2}{4\pi^2 R^2 v^2}\right) dV. \quad (17)$$

Это соотношение совпадает с распределением Максвелла. Приведенный подход подчеркивает тот факт, что при первоначальной "выгрузке" роботов с ГРП, начинают возникать перераспределения скоростей, а следом и положений, в рою между ИА. Такое распределение возникает тогда и только тогда, когда агенты способны отличать друг друга и отличать соседнего агента от препятствий среды.

Если же такие условия не выполняются между роботами должно сохраняться то распределение, которое существовало в начальный момент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варшавский В. И., Поспелов Д. А. Оркестр играет без дирижера: размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 208 с.
2. Anteboid Robot Navigates Without a Brain [Электронный ресурс]. – Massachusetts, 2012. – Режим доступа: <http://www.technologyreview.com>
3. Подходы к разработке компьютерных моделей сознания [Электронный ресурс]. – / Редько В.Г. // Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, Москва. – Режим доступа: <http://www.niisi.ru>