

УДК 681.3

ЧАСТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЛИДЕРСТВА И САМОСОЗНАНИЯ В ГРУППОВОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ

В.Э. Карпов (*vkarpov@hse.ru*)

**Московский институт электроники и математики
НИУ ВШЭ, Москва**

В работе на основе такой типичной задачи групповой робототехники, как стайное преследование, описывается и обосновывается простой механизм формирования лидера в стае, предлагается частная схема формирования модели мира у робота. Приводится описание экспериментов, проведенных на основе группы мобильных мини-роботов.

1. Введение

Начнем с содержательной постановки задачи. Пусть имеется группа роботов трех типов: "жертва", "охотники" и "нейтралы". Задача "охотников" - настичь жертву, причем желательно настичь в составе некоторой группы (стаи). При этом "охотники" должны избегать нахождения рядом с "нейтралом". Задача "жертвы", естественно, - убежать от охотников, а "нейтралы" живут сами по себе, мешая "охотникам" и предоставляя защиту "жертве". В каком-то смысле здесь можно привести аналогию между оленем ("жертва"), волками ("охотниками") и слонами ("нейтралами", если принять, что волки боятся слонов). Таким образом, мы имеем дело с типичной игрой преследования, обремененной дополнительными персонажами. Важно, что персонажами (игроками) являются реальные технические устройства – роботы.

Естественно, подобного рода задачи рассматривались многократно, причем на глубоком содержательном модельном уровне. Это – хорошо исследованная область (см., например, дифференциальные игры преследования). Здесь же речь идет о том, что мы работаем в условиях принципиально больших ограничений на возможности робота.

С одной стороны, существует тезис о том, что групповое (коллективное) поведение роботов невозможно в том случае, когда сами роботы "примитивны". Имеется в виду, что групповое поведение – это некий синергетический эффект, возникающий или могущий возникнуть в группе (стае, коллективе) сложно устроенных особей. Действительно, роботу необходимо понимать действия других членов группы (или иметь

хоть какую-нибудь информацию об этом). Это само по себе является нетривиальной технической задачей, связанной, по сути, ни с чем иным, как, в конечном итоге, с распознаванием сцен.

С другой стороны, в основе т.н. "групповой робототехники" лежит утверждение, что решение сложных задач может быть получено совокупностью простых роботов. И тоже говорятся слова про синергетические эффекты и проч. При этом, чем больше эта группа, тем более сложные задачи она способна решать. Этот привлекательный тезис (сродни переходу количества в качество) имеет вполне оправданную с технической точки зрения составляющую: если роботов должно быть много, то естественно желание, чтобы они были как можно проще и, соответственно, дешевле.

Далее мы рассмотрим, как может решаться поставленная задача именно с точки зрения групповой робототехники, т.е. совокупностью простых устройств. Очевидно, что если ограничиться только демонстрацией решения этой известной задачи, то сомнительная ценность работы заключалась бы исключительно в ее технических аспектах. Главным же является попытка реализации таких нетривиальных для групповой робототехники механизмов, как формирование лидера в коллективе и формирование у робота некоторой модели субъективного Я применительно к его модели мира. При этом мы постараемся показать, что эти механизмы действительно реализуемы простыми средствами и, что важно, имеют реальное практическое значение.

2. Устройство робота

Начнем с устройства робота. Робот – это колесная платформа небольших габаритов, оснащенная контроллером, датчиками и маяками.

Робот снабжен четырьмя датчиками, направленными вперед (F), налево (L), направо (R) и назад (B).

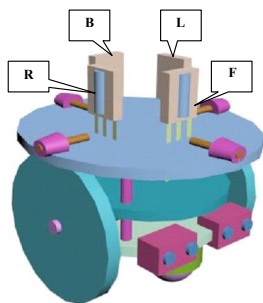


Рис.1. Модель робота и ее реализация

Этими датчиками робот способен определять тип объектов (других игроков), находящихся рядом с ним. Такими типами являются "жертва", "охотник" и "нейтрал". Итак, роботы способны идентифицировать своих соседей. С технической точки зрения, каждый робот постоянно излучает сигнал, соответствующий его типу. Излучатель работает в ИК-диапазоне, а датчики представляют собой приемники типа TSOP.

Действия, совершаемые роботом, ограничиваются поворотами на 90°, движением вперед, назад и остановом. Робот прост и достаточно дешев для того, чтобы можно было создать группу из десятка подобного рода устройств.

3. Самосознание

Пусть эффективность решения задач организмом (роботом, животным) зависит от степени его – животного – организации. Тезис этот весьма спорный, требующий определения и уровня организации (интеллектуальности), и класса решаемых задач. Тем не менее, если его принять (т.е. не скатываться в радикальную BEAM-робототехнику), то получим следующую цепочку рассуждений.

Уже давно общепринято, что интеллектуальная система (интеллектуальный робот в особенности) должна содержать модель мира, как внутреннего, так и внешнего. И анализ, и принятие решений, и формирование управляющих воздействий – все это определяется в соответствии с этой моделью. Кроме того, именно эта модель отвечает за процедуру прогнозирования развития ситуации. Не в последнюю очередь наличие модели мира позволяет интеллектуальной системе работать в условиях неполноты информации о среде обитания.

С понятием модели мира теснейшим образом связано то, что называется самосознанием или субъективным Я (С.Я.). Без наличия С.Я. модель мира теряет смысл.

Итак, модель мира, включающая С.Я., – это прерогатива сложной, интеллектуальной системы. Тем не менее, рассмотрим возможность реализации этих механизмов простыми средствами, допускающими их воплощение на скромном программно-аппаратном уровне (а это и есть основная парадигма групповой робототехники).

Для робота С.Я. может рассматриваться в двух аспектах:

- "Я" с точки зрения сенсорной системы;
- "Я" как компонента модели, описывающей отношения между объектами окружающего мира.

С.Я. с точки зрения сенсорной системы. Большинство сенсоров определяют сигнал относительно робота. Препятствие слева/справа, освещенность, расстояние до объекта и т.п. – все это определяется

относительно робота, его местоположения, ориентации и проч. В этом смысле сенсорная система неявным, но естественным образом оперирует понятием "Я". К этому относятся и внутренние параметры системы. Причем таким же неявным образом задается управление.

Смысл же С.Я. с точки зрения робота заключается в том, что "Я", как элемент модели мира, должно использоваться для *прогнозирования* ситуации. Это прогнозирование рассматривается в самом общем смысле и сводится к *моделированию* развития ситуации.

Видимо, наличие такой модели должно помочь "жертве" более успешно избегать опасностей, что и будет продемонстрировано далее.

Описание модели мира. Модель мира, согласно [Аверкин и др., 1992], - это способ отображения в памяти интеллектуальной системы знаний о внешней среде. Сведем эти знания к описанию отношений между объектами мира, в котором живет робот.

Всякое действие робота должно быть отображено в модели мира. При этом, совершая некое действие, происходит изменение отношений между объектами. Причем одним из объектов является сам робот. Это и есть С.Я.

Обозначим типы распознаваемых (идентифицируемых) роботом объектов как w , l , h и f .

На рис.2, а изображена ситуация, когда спереди робот видит объект типа l , справа – объекты типа w и f , слева - объекты типа w и h , а сзади – объекты типа h и f . Эти типы – l , w , f , h – могут соответствовать опознаванию участников игры, типов препятствий и т.п.

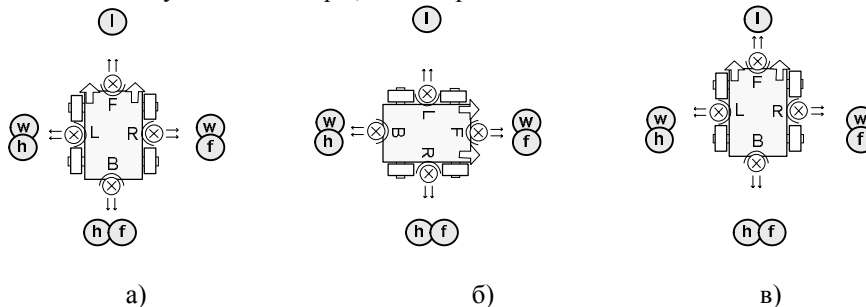


Рис.2. а) начальное положение, б) поворот направо, в) шаг вперед

Будем считать, что для робота все происходящее в окружающем мире описывается отношениями между его датчиками и наблюдаемыми объектами. Тогда ситуация на рис.2, а может быть описана следующим отношением R :

$$R = \begin{matrix} & w & l & h & f \\ \begin{matrix} F \\ B \\ L \\ R \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Элемент матрицы r_{ij} трактуется так: датчик i определяет объект типа j на расстоянии r_{ij} . Это – наблюдаемая роботом картина мира.

Когда робот совершает какое-нибудь действие, наблюдаемая картина мира, естественно, меняется, т.е. изменяются отношения между датчиками робота и объектами.

Попробуем, однако, описать эти изменения не с точки зрения "объект-датчик", а с точки зрения лишь датчиков, т.е. с точки зрения робота.

Пусть робот умеет поворачиваться налево, направо и двигаться вперед. Тогда, например, поворот направо (на 90°) может быть описан следующим оператором:

$$M_r = \begin{matrix} & F & B & L & R \\ \begin{matrix} F \\ B \\ L \\ R \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Смысл элемента матрицы m_{ij} таков: то, что наблюдалось датчиком i , при повороте направо будет наблюдаться датчиком j . Например, то, что было впереди (строка F), окажется при повороте слева (столбец L).

Поворот налево будет описываться оператором M_l , причем, очевидно, $M_l = M_r^T$. А такое действие, как шаг вперед, может быть представлено так:

$$M_f = \begin{matrix} & F & B & L & R \\ \begin{matrix} F \\ B \\ L \\ R \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Трактуется это так, что расстояние до объектов, находящихся впереди, будет уменьшаться ($M[F,F] = 1.5$), а до тех, что были сзади – увеличиваться ($M[B,B] = 0.5$). При этом полагается, что расстояние до объектов слева/справа не изменится.

Строго говоря, оператор M_f определен не совсем корректно, т.к. уменьшение (увеличение) расстояния до объекта должно быть аддитивным, а не мультипликативным (здесь надо заниматься матричным сложением, используя некий аналог вектора переноса при

преобразованиях координат в машинной графике). При имеющемся преобразовании мы никогда не сможем дойти до объекта и тем более – оставить его позади себя. В этом смысле трактовка оператора M_f должна быть несколько иной. Тем не менее, простоты ради будем считать M_f как некий "зеноновский" шаг вперед.

Итак, если в момент времени t наблюдаемая картина мира описывается отношением $R(t)$, то, совершая действие M_i , наблюдаемая картина изменится следующим образом:

$$R(t+1) = M_i^T R \quad (1)$$

Результаты поворота налево, направо и шага вперед приведены ниже:

$$R_l = M_l^T \cdot R, \quad R_r = M_r^T \cdot R, \quad R_f = M_f^T \cdot R$$

$$\begin{array}{ccc}
 \begin{array}{c} \text{w l h f} \\ F \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ B \\ L \\ R \end{array} &
 \begin{array}{c} \text{w l h f} \\ F \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ B \\ L \\ R \end{array} &
 \begin{array}{c} \text{w l h f} \\ F \begin{bmatrix} 0 & 0.66 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ B \\ L \\ R \end{array}
 \end{array}$$

Последовательность действий "поворот направо" и "шаг вперед" опишется, естественно, так:

$$R_{r+f} = M_f^T (M_r^T \cdot R)$$

$$\begin{array}{c} \text{w l h f} \\ F \begin{bmatrix} 0.66 & 0 & 0 & 0.66 \\ 2 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ B \\ L \\ R \end{array}$$

Итак, используя последовательность преобразований начальной ситуации, эти операции позволяют определить состояние робота, совершающего соответствующие действия. Все это внешне похоже на последовательности преобразования координат при геометрических построениях, однако здесь мы имеем дело с некоторой точкой отсчета, связанной с самим роботом – с тем самым субъективным Я.

Работа с моделью. Итак, модель мира задана. В ней С.Я. фигурирует неявно. Далее все рассуждения основываются на процедуре оценки текущей ситуации

$$\mu(R(t), C(t)) \quad (2)$$

Здесь $C(t)$ – некий текущий контекст, в рамках которого и происходит оценка ситуации. Например, для "жертвы" оценка зависит от того, сколько вокруг нее "охотников", а "охотнику" хорошо тогда, когда рядом находится "жертва", собратья по стае и нет "нейтралов".

С практической точки зрения, наиболее приемлемыми вариантами прогнозирования развития ситуации являются следующие:

1. Построение дерева возможных вариантов действий. Здесь речь идет о генерации возможных путей на некоторую глубину. Далее происходит оценка и выбор оптимального пути (последовательности действий). Вычислительная (переборная) сложность очевидна.

2. Использование "жадных" (локально-оптимальных) алгоритмов. Здесь осуществляется выбор следующего наилучшего шага.

Таким образом, применяя подобную схему к поведению "жертвы", мы получим следующую последовательность: робот-жертва, получая информацию от своих сенсоров, формирует описание текущей ситуации в виде отношения $R(t)$. Далее, согласно (1), перебираются все возможные действия на 1-2 шага в глубину. Результирующее (прогнозируемое) отношение $R(t+1)$ оценивается. Исходя из результатов (2) окончательно выбирается действие, приводящее к наиболее благоприятному исходу.

Далее следует сделать два замечания.

1. Сама схема формирования модели мира детерминирована. Случайность (неопределенность) возникает естественным образом, как следствие поведения других игроков, ошибок управления, восприятия и проч. Для этого и нужен постоянный пересчет плана/прогноза. Кроме того, модель мира вовсе не обязана быть стохастической. Обычно при планировании и/или прогнозировании в нашей повседневной жизни мы можем не оперировать понятием вероятности.

2. Очевидно, что описанную выше схему поведения можно реализовывать совершенно различными способами. Та же простейшая система продукций является не худшим вариантом. Дело здесь заключается в том, что предложенная схема – это просто некий вариант, одна из возможных точек зрения на то, как могла бы выглядеть система управления. Речь идет лишь о некой системе координат, начало которой связано именно с роботом. Отсюда и появляется возможность рассуждений и описания поведения именно с позиций С.Я. самого робота.

4. Лидерство

От поведения "жертвы" перейдем теперь к поведению "охотников". Их стратегия сводится к простым правилам: (I) если рядом жертва, то преследовать ее; (II) избегать "нейтралов"; (III) держаться друг друга (охотиться стаей).

Самым "проблемным" является правило (III). Дело в том, что если рядом нет "жертвы" или "нейтрала", то "охотники" будут двигаться друг к другу и образовавшаяся группа (стая) просто останется на месте, т.к. иных побудительных мотивов для движения (поиска, например) у нее просто не

будет. В такой ситуации и нужен лидер ("вожак"), способный повести стаю хоть куда-нибудь.

В [Редько, 2006], [Редько, 2009] рассмотрена общая схема формирования сознания "вожака", связанная с формированием коллектива роботов. Этот "вожак" может появиться в коллективе (стае) практически одинаковых роботов. При этом если "вожак" погибает, то в стае появляется новый "вожак". Подразумевается, что в такой стае смена лидера определяется психологией животных. Подобные психологические эффекты описаны, например, в [Костенкова, 2004].

Не в даваясь в психологию животных и их побудительные мотивы, примем этот феномен лидерства как есть, в готовом виде. С практической точки зрения это выглядит так: каждый робот-охотник обладает некоторым "весом". При этом он способен оценить "вес" встреченного собрата. Далее, при встрече двух "охотников", происходит их взаимное оценивание. Тот робот, который "сильнее", становится лидером и начинает движение в произвольном направлении (поиск). А тот робот, который слабее, просто следует за своим лидером (правило (III)).

Реализация подобной схемы образования лидера позволяет роботам-охотникам образовывать локальные стаи и двигаться согласованно. Естественно, лидер может поменяться (встретится более сильный), однако общая тенденция останется прежней.

5. Эксперименты

Разумеется, в первую очередь были поставлены вычислительные эксперименты (рис.3, а), подтвердившие работоспособность описанных выше моделей. На модельном уровне "охотники" успешно загоняли "жертву", а последняя не менее успешно убегала от своих преследователей, прячась под защиту "нейтралов".

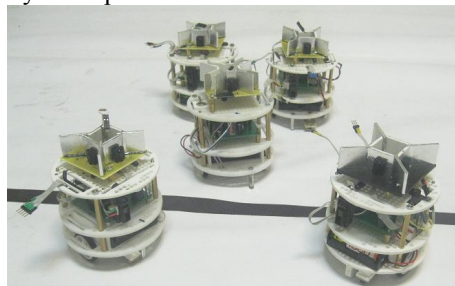
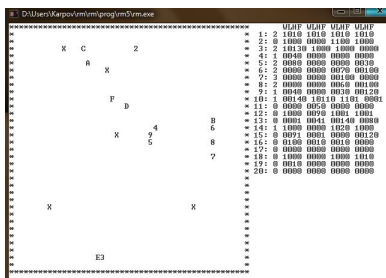


Рис.3. а) вычислительный эксперимент; б) коллектив роботов

Натурные же эксперименты, использующие в максимальном составе 5 "охотников", одного "нейтрала" и одну "жертву" были менее вняты. Излишний "лаконизм" конструкции роботов не позволял в полной мере

определить состояние модели мира той же жертвы. В большей степени эксперименты заключались в наблюдениях за поведением игроков, что, впрочем, достаточно хорошо согласуется (методологически) с подобными рода экспериментами в биологии. В какой-то мере здесь можно сослаться на т.н. принцип редукционизма, согласно которому каждому внешнему проявлению ставится в соответствие ненаблюдаемое внутренне состояние ВНД ([Костенкова, 2004]).

Тем не менее, часть натуральных экспериментов можно было назвать удачными.

6. Заключение

Безусловно, и модель мира, и субъективное Я, и самосознание, и психология лидерства – все это весьма сложные феномены, требующие серьезного и глубокого осмысления.

Более того, имеются основания полагать, что С.Я., как образ (модель) субъекта в окружающем мире, может быть связано с коллективным аспектом существования. Однако механизмы, связанные с коллективным (социальным) поведением, в т.ч. – и самосознание – могут сформироваться только у сложной системы. Самосознание – это своего рода некое эмерджентное свойство сложной системы.

Рассмотренные же выше схемы больше похожи на некоторое трюкачество, искусственные построения, введенные в угоду решения некоторой частной задачи.

Отметим также, что формирования эффективного управления можно добиться и иными путями, вовсе без С.Я., на уровне стимул-реактивных реакций. Если говорить о лидерстве, то имеется множество моделей децентрализованного управления (см., например, [Варшавский, Поспелов, 1984], [Гаазе-Рапопорт, Поспелов, 1987]). Еще можно вспомнить ранги рефлексии в играх автоматов [Цетлин, 1969]. Там нет явного понятия С.Я., но, тем не менее, автоматные модели превосходно справляются со своими задачами.

И последнее замечание. Специфика решаемых задач требует наличия механизма самообучения или, по крайней мере, – адаптивной параметризации роботов. Это связано, как минимум, с тем, что мы имеем дело с реальными объектами, работающими в физической среде. Если робот умеет идентифицировать объекты, то возможно его самообучение, т.е. формирование M_i . Например, M_i может представлять собой формируемую стохастическую матрицу, соответствующую преобразованиям отношений при совершении действия i .

Все это – предмет дальнейших исследований.

Список литературы

- [Аверкин и др., 1992] Аверкин А.Н., Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А. Толковый словарь по искусственному интеллекту, -М.: Радио и связь, 1992, - 256с.
- [Варшавский, Поспелов, 1984] Варшавский В.И., Поспелов Д.А. Оркестр играет без дирижера: размышления об эволюции некоторых технических систем и управлении ими, М.: Наука, Главн. ред. физ.-мат. литературы, 1984, -208с.
- [Гаазе-Рапопорт, Поспелов, 1987] Гаазе-Рапопорт М.Г., Поспелов Д.А. От амебы до робота: модели поведения. -М.: Наука, 1987, -286с.
- [Костенкова и др., 2004] Костенкова В.Н., Никольская К.А. Сравнительная характеристика психоэмоциональных проявлений у беспородных крыс и крыс линии Вистар // Журн. высш. нервн. деят., 2004. Т. 54. № 5. С.620-631.
- [Редько, 2006] Редько В.Г. Как промоделировать сознание? // Сб. по материалам Симпозиума "Сознание и Мозг" – Ин-т философии РАН, 30 ноября, 2006
- [Редько, 2009] Редько В.Г. Подходы к разработке компьютерных моделей сознания //Проблема сознания в философии и науке. Сб. под ред. Д.И.Дубровского. М.: "Канон+" РООИ "Реабилитация", 2009. С. 419-424.
- [Цетлин, 1969] Цетлин М.Л., Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. - М: Наука, 1969