

УДК 004.8

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ КРИТЕРИЯ «СВОЙ-ЧУЖОЙ» В МНОГОАГЕНТНЫХ КОЛЛАБОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

В.Э. Карпов

НИЦ «Курчатовский институт»
РФ, 123182, Москва, пл. академика Курчатова, 1
E-mail: karpov.ve@gmail.com

П.С. Сорокоумов

НИЦ «Курчатовский институт»
РФ, 123182, Москва, пл. академика Курчатова, 1
E-mail: petr.sorokoumov@gmail.com

В.В. Леушина

НИЦ «Курчатовский институт»
РФ, 123182, Москва, пл. академика Курчатова, 1
E-mail: wandbpand@gmail.com

Ключевые слова: коллаборативные системы, групповая робототехника, сходство, иерархия, контактное поведение.

Аннотация: в работе описана модель применения оценок «свой-чужой» для влияния на поведение многоагентной системы, в состав которой могут входить как люди, так и роботы. Показана роль предложенной модели в общей архитектуре системы непрямого управления группой агентов. Указана возможность разделения оценки на два независимых компонента – иерархическую и основанную на сходстве параметров. Предложенная система протестирована на программных моделях, которые позволили сделать выводы о специфике вариантов оценивания применительно к особенностям свойств сред функционирования.

1. Введение

Обычно коллаборативные роботы (КР) т.е. роботы, предназначенные для выполнения некоторых технологических операций совместно с человеком, рассматриваются как эффективные и, главное, безопасные инструменты той или иной степени универсальности. Исходя из этого, в центре внимания коллаборативной робототехники находятся вопросы технического плана (ограничение скоростей и развиваемых усилий), эргономики, развитых интерфейсов общения. Несколько реже рассматриваются вопросы понимания, взаимной адаптации и обучения. Вместе с тем, если робот-партнер решает совместно с человеком некоторую задачу в сложной, динамической, недетерминированной среде, он обязан обладать определенной степенью автономности, особенно, когда речь идет о работе в условиях, критически важных или опасных для человека. В таких условиях поведение КР должно быть не только адекватным условиям сложной среды, но и отвечать представлениям человека-партнера о КР как о полноценном партнере. Речь здесь идет о вопросах доверия, понимания, психологическом восприятии и т.п. Исходя из этого, настоящее исследование основывается на следующих утверждениях: (1) рассматриваются задачи совместной

деятельности при решении сложных задач в критически важных для человека условиях; (2) в таких условиях КР является роботом-партнером; (3) КР автономен.

Автономность КР неизбежно порождает противоречия между стремлением удовлетворять собственные нужды робота и необходимостью подчиняться командам. Императивное управление приводит к неизбежным конфликтам и противоречиями с мотивацией поведения КР, с его ММ. Исходя из этого, КР должен воспринимать оператора либо как сущность окружающей среды, либо как конспецифика. Отсюда механизм взаимодействия оператора с КР должен быть основан на внеязыковом уровне, т.е. на сигнальной коммуникации: неимперативном, косвенном управлении. Вопросы сигнальной коммуникации уже рассматривались ранее [1], но лишь для коллаборации с одним роботом. Если же речь идет о создании партнерских систем нового вида, в которых оператор взаимодействует с множеством КР, то возникает еще один уровень управления, относящийся к разрешению вопросов взаимодействия внутри группы.

Индивидуальное поведение в простых средах реализуется на условно-рефлекторном уровне: робот решает базовую задачу удовлетворения своих актуальных потребностей (самосохранения, пополнения энергии и т.д.), используя, например, эмоционально-потребностную архитектуру. Работа в более сложных средах и условиях требует организации надстройки над рефлекторным уровнем в виде модели мира (ММ). Основные задачи ММ – оперирование абстрактными категориями, обобщение, классификация и т.п. Отметим, что здесь и далее подразумевается, что ММ построена на основе семиотической сети. Это – уровень индивидуального поведения. Введение в систему среда-робот партнера-человека приводит к появлению в ММ новых знаков-сущностей: «Я» (для сопоставления перцептов наблюдаемого партнера и самого робота), элементов, реализующих механизмы симпатической индукции и т.п. Когда же речь идет о наличии других КР, то в ММ должны быть элементы, ответственные за реализацию группового поведения КР.

В этой работе обсуждаются некоторые аспекты организации поведения КР именно в ситуации, когда имеется группа агентов, решающих совместно с человеком-оператором некоторые задачи, например, задачу патрулирования в составе группы КР. При этом как индивидуальное, так и групповое поведение будут рассматриваться с позиции т.н. парадигмы моделей социального поведения, основная задача которой – разработка моделей поведения, реализующих феномены социоподобного взаимодействия.

Среди базовых механизмов социального поведения выделяют такие как подражательное поведение и социальное обучение, контактное поведение (ассоциативное возбуждение моторных функций), когезию (стремление держаться вместе), эффекты, связанные с доминированием, а также т.н. сигнальную коммуникацию (восприятие эмоционального состояния агента другими). Все они основываются на понятии «свой-чужой» и реализуются на базе ассоциативного возбуждения компонентов вершин-знаков и связанных с ними элементов семиотической ММ при сопоставлении перцептов знаков контрагента («другой») и «Я» (субъект). Отсюда ясна «мотивация» поведения: двигаться к «своему» (когезия) или подражать ему, обучаться на примере «своего» (социальное обучение), откликаться на состояние «своего», проявлять агрессию к «чужому» и т.д. Итак, отношения между агентами в социуме складываются из двух аспектов: насколько агенты похожи между собой («свой-чужой», близость перцептов) и каково между ними отношение доминирования или лидерства (определяется тем, один агент сильнее, значимее другого). Под сравнением агентов иногда понимается схожесть между понятиями, которыми они оперируют [2]. Такое сравнение возможно благодаря представлению ММ таких агентов в виде онтологии [3]. Тогда схожесть формализованных представлений можно трактовать как

нахождение синонимичных понятий среди концептов другого робота. Реже вопрос сравнения агентов друг с другом рассматривается с точки зрения оператора. В таком случае определяется «уровень совместимости» КР и человека, основанный, например, на выборе предпочтительного поведения [4,5]. Здесь же мы рассматриваем вопрос схожести агентов с иной, биоподобной точки зрения, как прямую оценку внешней схожести перцептов.

Рассмотрим далее такой феномен социального взаимодействия как динамическое лидерство, определяющее формирование иерархии управления в группе.

2. Динамическое лидерство

Пусть имеется множество агентов A , при этом каждый агент A_i характеризуется некоторым весом w_i . Пусть распределение весов w_i таково, что для любой пары агентов можно однозначно определить отношение лидерства: A_i является лидером по отношению к A_j , если $w_i > w_j$ (веса образуют порядковую шкалу).

Механизм динамического лидерства заключается в том, что если обнаружен лидер, то агент реализует подчиненное или стайное поведение (следование за лидером, подражание лидеру и т.п.). Если лидер не обнаружен, то агент реализует свою актуальную поведенческую процедуру (лидер не подчиняется стайному правилу). Важно, что такая модель приводит к тому, что совокупность агентов разбивается на множество подгрупп со своими локальными лидерами и интересным вопросом является оценка количества таких подгрупп или количество локальных лидеров.

Выбор лидера – это весьма распространенная задача. Так, в работе [6] рассматривалась задача выбора лидера в т.н. статическом роле, образованном множеством агентов с ограниченным числом коммуникационных каналов и с произвольным распределением весов. Для такой модели была предложена итерационная процедура голосования, в результате которой в группе выбирался единственный лидер. Механизм динамического лидерства устроен несколько проще.

Пусть имеется N агентов, каждый агент воспринимает свое окружение в некоторой локальной области, ρ – максимальное число воспринимаемых агентов (степень связности). Зададим некоторое распределение агентов $D = (A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_N})$. Требуется определить, сколько в таком распределении образуется локальных лидеров или подгрупп. Рассмотрим D как вершины графа G . Между вершинами графа строятся ребра, определяющие отношения лидерства. Например, агент A_i рассматривает $\rho/2$ агентов слева от него и $\rho/2$ агентов справа (область видимости R). В области R определяется агент с максимальным весом $A_m: m = \arg \max\{\omega_j \vee A_j \in R\}$. Если $w_m > w_i$, то граф G дополняется ребром (m, i) . Далее в полученном графе определяется количество компонент связности C (количество подгрупп). Если $N \gg \rho$, то C будет обратно пропорционально ρ . Фактически, речь идет об оценке вероятностей разделения на подграфы из C вершин для произвольного графа.

3. Оценка «свой-чужой»

Эта оценка определяется похожестью или близостью перцептов знаков «Я» и «другой». Важным требованием к ней является биполярность, т.е. явное разделение на «своих» и «чужих»: по отношению этим категориям реализуются разные поведенческие процедуры. В зависимости от близости «своего» формируются разные по интенсивности интенции к подражанию и/или сводимой к ней взаимопомощи, а величина близости к чужому определяет различные уровни агрессивности (оценки с

точки зрения «угроза/опасность»). На шкале оценок «свой-чужой» максимальная близость перцептов наблюдается в нуле, см. Рис. 1а.

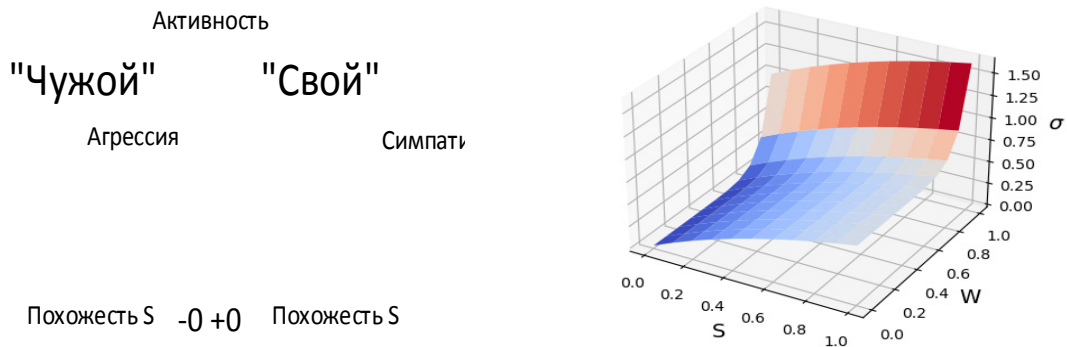


Рис. 1. а) биполярная шкала схожести, б) поверхность функции близости.

Разделение категорий «свой-чужой», степень схожести S (сходство перцептов) и оценка доминантности W (вес агента) рассматриваются обычно по-отдельности. Вместе с тем, интересным является вопрос возможности обобщения и/или унификации механизмов поведения. Для этого обобщения необходимо учесть как подражание по критерию веса W , так и подражание по сходству S . Введем интегральную характеристику – близость σ для пары агентов a и b : $\sigma(a, b) = \sigma(f_W(a, b), f_S(a, b))$, где f_W – функция contagiозности по иерархии подчинения, f_S – функция contagiозности по сходству. При этом иерархический компонент показателя антисимметричен: $f_W(a, b) = -f_W(b, a)$, а компонент схожести симметричен: $f_S(a, b) = f_S(b, a)$.

Основными требованиями к функции σ являются монотонность, ограниченность и доминирование параметра W над S (W «важнее» S). Например, σ может выглядеть так: $\sigma = (1 - e^{-S}) + W^n, n > 1$, полагая, для простоты $S, W \in [0, 1]$. На Рис. 1б. приведено изображение такого рода поверхности.

4. Тестовая задача

Для исследования особенностей групп, формируемых по описанной модели, проведено моделирование решения задачи фуражировки мобильными агентами. Агенты собирали пищевые частицы на клеточном поле с тороидальной топологией. Из собранной пищи они получали энергию для перемещений, руководствуясь правилами:

- 1) IF запасы энергии нулевые THEN ничего не делать.
- 2) IF в его ячейке имеется пища THEN поглощать ее.
- 3) IF видна пища THEN двигаться к ней.
- 4) IF кто-то из окружающих агентов «свой» THEN двигаться к нему.
- 5) ELSE перемещаться случайно.

В ходе моделирования собираются сведения о средней энергии агентов, численности и характеристиках групп, что позволяет изучать влияние на поведение: а) метода оценки агента как «своего»/«чужого»; б) полноты информации об окружении и в) насыщенности среды ресурсами.

Агенты пронумерованы последовательными натуральными числами. Если считать сходными агентов с близкими номерами, а доминирующими – агентов с малыми номерами, то такая нумерация позволяет вводить функции близости разных видов по этим номерам. А именно, если агент A_0 видит некоторое множество других агентов $A = \{A_i\}, i=1..M$ с номерами $N(A_i)$, то иерархический компонент рассчитывается как $W_i =$

$\frac{N(A_i) - N(A_0)}{M}$, а компонент сходства как $S_i = 1 - \exp\left(\frac{-|N(A_i) - N(A_0)|}{M}\right)$. Такая форма сохраняет смысл весов и ограничивает их значения интервалом $[0,1]$.

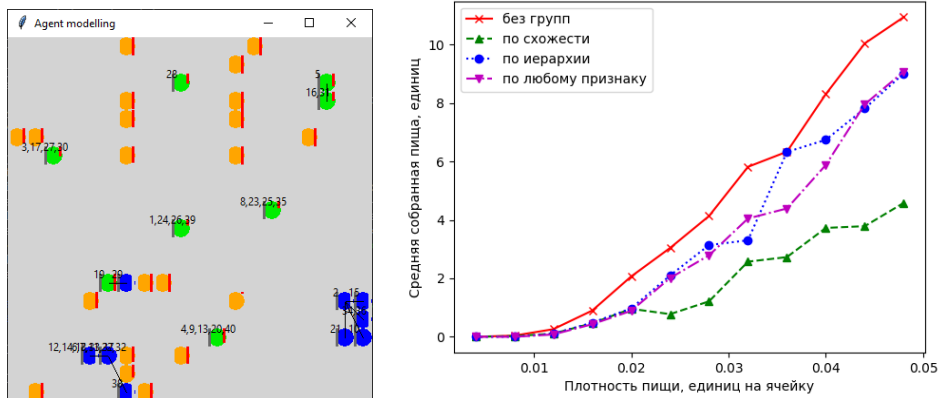


Рис. 2. Моделирование поведения агентов. а) синие объекты - свободные агенты, зеленые – агенты в процессе питания, оранжевые – б) зависимости эффективности агента от плотности пищи в среде для разных методов формирования групп.

При моделировании оценивались соотношения конечной средней энергии и размера групп от насыщенности среды. Так, на Рис. 2б показана зависимость количества накопленной агентами энергии от ее содержания в среде.

5. Выводы по результатам моделирования

Разработанная модель позволила оценивать влияние характера межагентных связей на поведение группы агентов, а также обосновать применение определенного типа связей в зависимости от характера решаемой агентами задачи. Было показано, что:

1. Группировка только по принципу схожести снижает эффективность работы во всех случаях, а введение иерархии, даже динамической, увеличивает эффективность.
2. Групповое поведение эффективно при малой области видимости агентов.
3. Подражание выгоднее самостоятельных действий при отсутствии полной информации.

Из направлений дальнейших исследований можно отметить моделирование взаимопомощи внутри групп, а также отслеживание лидера после ухода из поля зрения.

Работа выполнена за счёт государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Список литературы

1. Карпов В.Э., Ровбо М.А., Сорокоумов П.С. Сигнальная коммуникация для управления поведением коллаборативного робота // Мехатроника, автоматизация, управление. 2023. Т. 24, № 5. С. 260-268.
2. Maedche A., Staab S. Measuring similarity between ontologies // Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics). 2002. Vol. 2473. December. P. 251-263.
3. Olivares-Alarcos A., et al. A review and comparison of ontology-based approaches to robot autonomy // Knowl. Eng. Rev. 2019. Vol. 34.
4. Chang W.L., et al. The effect of group size on people's attitudes and cooperative behaviors toward robots in interactive gameplay // Proc. IEEE Int. Work. Robot Hum. Interact. Commun. 2012. P. 845-850.
5. Correia F., et al. Groups of humans and robots: Understanding membership preferences and team formation // Robot. Sci. Syst. 2017. Vol. 13, No. 1.
6. Karpov V., Karpova I. Leader election algorithms for static swarms // Biol. Inspired Cogn. Archit. 2015. Vol. 12. P. 54-64.