

# Познание и использование свойств природы КОГНИТИВНЫМ АВТОНОМНЫМ АГЕНТОМ

В.Г. Редько

ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, vgridko@gmail.com

**Аннотация.** Построена и проанализирована модель когнитивного автономного агента, познающего простые свойства природы. Предполагается, что агент развивает способность примитивного мышления, в частности, агент обладает способностью предсказывать будущие события во внешнем мире и имеет элементарное чувство причинности. Агент формирует понятия, характеризующие внешний мир, наблюдает и анализирует явления внешнего мира. Построена и проанализирована иллюстративная компьютерная модель когнитивного автономного агента, использующего свои способности при выполнении определённой полезной работы.

**Ключевые слова:** когнитивный автономный агент, простые формы мышления, познание свойств природы, научное познание

## 1. Введение

В работе [1] анализируются перспективы направления исследований «Моделирование когнитивной эволюции». В [1] представлены проблемы, демонстрирующие актуальность этого направления исследований, характеризуются задачи моделирования когнитивной эволюции (как со стороны компьютерных наук и моделей автономных агентов, так и со стороны биологических исследований когнитивных способностей животных). Подчеркивается, что наиболее перспективный путь к изучению когнитивной эволюции состоит в построении и исследовании моделей когнитивных автономных агентов, в изучении того, как в процессе когнитивной эволюции возникло наше мышление, применимое в научном познании. В работе [1] также представлены контуры программы будущих исследований когнитивной эволюции и отдельные начальные модели этих исследований.

В настоящей работе строится и анализируется модель познания простых свойств природы когнитивным автономным агентом. Рассматривается агент, который уже обладает познавательными навыками, но эти навыки ещё довольно простые. В историческом аспекте это соответствует переходу от примитивного, первобытного мышления [2, 3] к начальным формам познания закономерностей природы. Этот переход хорошо охарактеризован в книге В.Ф. Турчина «Феномен науки» [4, гл. 8, 9]. В частности, Турчин анализирует процессы эволюционного развития мышления от первобытного к современному. Будем рассматривать агента, который ещё не обладает серьёзными математическими способностями, но уже может считать, наблюдать события во внешнем мире и пытаться анализировать закономерности в природе. Способности агента

ещё далеки от полноценного научного познания, но уже формируются начальные шаги к такому познанию.

## 2. Свойства когнитивного агента

Будем считать, что агент может наблюдать события в природе, определять числа, записывать числа в таблицу. Также агент может выполнять простые арифметические действия. Для определённости будем рассматривать агента, наблюдающего и анализирующего явления погоды. Также будем считать, что агенту предоставлены простые приборы, которые измеряют время, температуру воздуха, интенсивность света в окружающей среде. Агент может пользоваться этими приборами. Будем анализировать, как агент может обнаружить простые закономерности развития погоды.

Считаем, что агент обладает свойством прогнозирования будущих событий во внешней среде. А именно, если агент наблюдает, что за событием  $A$  многократно следует событие  $B$ , то при новом появлении события  $A$  агент прогнозирует, что за этим событием с большой вероятностью последует и событие  $B$ . Во многих случаях это можно рассматривать как связь между причиной  $A$  и следствием  $B$ . Такое свойство прогнозирования очень близко к чувству причинности в понимании Дэвида Юма [5]. В работе [6] была построена и проанализирована компьютерная модель агентов с таким свойством прогнозирования; эти агенты могут заранее предвидеть появление благоприятных и неблагоприятных событий в окружающей среде. Благодаря предвидению эти агенты могут заранее подготовиться к новым событиям. Также было показано, что в процессе эволюции популяции агентов агенты

со свойством прогнозирования могут преимущественно вытеснять агентов без свойства прогнозирования из популяции.

Рассматриваем автономных агентов, которые в основном анализируют события в природе самостоятельно, только используя предоставляемые им приборы для измерения характеристик событий. Поведение агентов может быть промоделировано в компьютерной программе.

### **3. Познание агентом общей динамики климата в течение года**

Сначала рассмотрим, как агент запоминает продолжительность дня и ночи в течение суток. Считаем, что агент наблюдает рассвет и закат (т.е. наступление светлого и тёмного времени суток), и, используя часы, каждый день регистрирует и записывает время рассвета и заката в таблицу. Конечно, при простом наблюдении эти моменты могут определяться приближённо, но для начального обнаружения простых закономерностей точность не очень существенна. Также он ежедневно определяет продолжительность дня и ночи. Для определённости будем считать, что агент начинает наблюдения с момента начала года и ведёт наблюдения в течение года. После проведения этих наблюдений он может построить графики зависимости продолжительности дня и ночи от номера дня в течение года.

Так как агент может выполнять арифметические действия, то он может проводить усреднение измеренных им величин.

Считаем, что кроме определения этого, агент измеряет температуру окружающей среды и определяет среднюю температуру в течение дня и ночи, а также среднюю температуру в течение суток. Делает он это каждый день и записывает эти данные в таблицу.

Для определённости считаем, что агент географически находится на одном месте на умеренной широте (например, в Москве). Агент выполняет все эти наблюдения в течение ряда лет, а затем проводит усреднение данных по таблицам. Используя усредненные данные, агент выделяет времена года: зиму, с низкой температурой окружающей среды, лето с высокой температурой, весну и осень с растущей и уменьшающейся температурой.

### **4. Наблюдение и предсказание отдельных явлений природы**

Считаем, что агент может наблюдать и регистрировать отдельные явления природы, характеризуя их как качественно, так и количе-

ственно. Так агент наблюдает солнце и регистрирует, высоко или низко находится солнце. Агент связывает светлое и тёмное время суток с наличием и отсутствием наблюдаемого солнца на небе. Также его наблюдения показывают, что летом солнце находится на небе выше, чем зимой. Аналогично агент наблюдает и регистрирует, что солнечный свет нагревает освещаемые предметы. Более того, наблюдая многократно, как солнце освещает камень и после этого камень нагревается, агент делает вывод, что солнечный свет есть причина нагревания камня.

Наблюдая на небе тучи и их движение, агент приходит к выводу, что существует ветер, который приводит к движению туч. Достаточно большие тучи приводят к осадкам: к снегу или к дождю при низкой или высокой температуре окружающей среды.

Таким образом, агент формирует определённые знания о погоде окружающей среды, может с определённой вероятностью предсказывать характер будущих событий, характер будущей погоды. Считаем, что агент может перемещаться в рассматриваемом мире и ему могут быть предоставлены средства для приспособления к окружающему его миру, например, укрытия от дождя, помещения для обогрева при морозах. Несложно задать в рассматриваемой модели индивидуальную приспособленность агента, например, считая агента подобным подвижному роботу, для которого важны температура и влажность непосредственно того места, где агент находится. Предсказывая события в окружающей среде, агент может организовать своё поведение так, чтобы стремиться повысить свою приспособленность.

### **5. Формирование понимания явлений природы**

Считаем, что агент способен наблюдать и анализировать явления природы, в том числе, анализировать причинные связи между событиями в природе. Его анализ довольно простой. Приведём примеры явлений, которые наблюдает и анализирует агент.

Считаем, что агент наблюдает за растениями и животными в течение года: наблюдает, как весной пробивается и растёт трава, как начинает зеленеть листва на деревьях. Агент наблюдает рост растений. Например, он видит, что при наличии влаги из зерна пшеницы появляется росток. А если посадить этот росток в достаточно влажную почву, то маленький росток превращается в стебель. Затем стебель растёт, происходит формирование колоса, далее происходит цветение, формирование зерен, сначала зеленых, а затем происходит формирование спелых зерен.

Причём если спелые зерна не убрать вовремя, то эти зерна осыпаются.

Также агент может наблюдать конкуренцию между растениями, сорняки могут задавить рост полезного растения. Вредные насекомые могут повредить нужное растение и плоды растения.

Агент может наблюдать поведение животных, в частности, домашних животных человека, питание и рост животных.

Таким образом, агент может наблюдать, анализировать и понимать достаточно простые явления природы, в том числе, агент может формировать понимание причинных связей между отдельными явлениями. Например, причиной того, что полезное растение не вырастет, может быть обилие сорняков.

## 6. Иллюстративный пример познания и использования закономерностей природы

Мысленно переносим агента с рассмотренными выше свойствами в наши дни и проанализируем его свойства на достаточно простом примере.

Рассматриваем агента, который служит помощником людей. Люди предоставляют агенту доступ в Интернет, агент может пользоваться календарём, ему доступен прогноз погоды на ближайшие дни. Будем считать, что агент контролирует технологический процесс выращивания сельскохозяйственных культур на определённой территории, служит простым агрономом-координатором отдельного участка сельскохозяйственной фирмы. Для определённости рассматриваем участок для выращивания яровой пшеницы. Используя Интернет, агент может узнать рекомендации по выращиванию пшеницы, освоить эффективные методы процессов выращивания пшеницы. То есть, агент использует опыт людей по изучению рассматриваемых процессов. Агент даёт команды начала выполнения отдельных этапов работ по выращиванию пшеницы: вспашки, боронования, посева, опрыскивания, сбора урожая. При принятии решений агент анализирует связи между рассматриваемыми им событиями. Он может анализировать причины возникновения событий. Например, агент может учитывать, что для формирования

успешных всходов пшеницы при посеве почва должна быть достаточно влажной. Также надо не пропустить время сбора урожая, чтобы колосья созревшей пшеницы не успели осыпаться. В конце года подводится итог такой координационной работы агента, его эффективность оценивается по количеству собранной пшеницы.

Рассмотрим конкретную компьютерную модель такого агента-координатора. Считаем, что процесс выращивания пшеницы содержит  $N$  этапов. Перед началом процесса выращивания агенту предоставлены ориентировочные значения времен начала этапов  $t_{10}, t_{20}, \dots, t_{N0}$ . Имеются оптимальные времена  $t_{1OPT}, t_{2OPT}, \dots, t_{NOPT}$  для рассматриваемого участка и для рассматриваемого года. Агенту эти оптимальные времена не известны, но он стремится наилучшим образом выбрать эти времена с учётом погоды, наблюдений за процессом выращивания пшеницы на своём участке и известных из Интернета общих рекомендаций.

В нашей иллюстративной модели рассматриваем большое количество идентичных участков, на каждом участке имеется свой агент-консультант. Оптимизация функционирования агентов осуществляется эволюционным путём. Число участков и число агентов равно  $n$ . Оптимизация происходит в течение ряда поколений эволюции.

Рассмотрим, как именно отдельный агент выбирает времена этапов в нашей модели. В первом поколении агент отталкивается от предоставленных ему ориентировочных значений начала этапов  $t_{10}, t_{20}, \dots, t_{N0}$  и немного варьирует их с учётом погоды, наблюдений за процессом выращивания пшеницы на своём участке и известных из Интернета общих рекомендаций, т.е. прибавляет к опорным временам сравнительно небольшие добавки (положительные или отрицательные). В иллюстративной модели мы считаем, что эти добавки случайны и равномерно распределены в интервале  $[-d, +d]$ , где  $d$  – параметр варьирования ( $d > 0$ , для простоты модели предполагаем, что этот параметр одинаков для всех этапов). А в конце поколения агент получает новые значения времени начала этапов:  $\mathbf{t}_k(1) = \{t_{1k}(1), t_{2k}(1), \dots, t_{Nk}(1)\}$ ,  $k$  – номер агента в популяции,  $k = 1, 2, \dots, n$ . Для всех агентов определяется евклидово расстояние между  $\mathbf{t}_k(1)$  и оптимальными временами  $\mathbf{t}_{OPT} = \{t_{1OPT}, t_{2OPT}, \dots, t_{NOPT}\}$ :

$$\rho_k(\mathbf{t}_k(1), \mathbf{t}_{OPT}) = \sqrt{(t_{1k}(1) - t_{1OPT})^2 + (t_{2k}(1) - t_{2OPT})^2 + \dots + (t_{Nk}(1) - t_{NOPT})^2}.$$

Далее выбирается «наилучший» агент первого поколения, т.е. тот агент, для которого расстояние  $\rho_k(\mathbf{t}_k(1), \mathbf{t}_{OPT})$  минимально. Номер этого

агента равен  $k_{min}(1)$ . Во втором поколении для всех агентов начальные значения времен этапов равны начальным временам этапов этого

наилучшего агента  $t_{k\_min}(1)$ . Далее эти времена варьируются также, как в и первом поколении эволюции. И снова определяется наилучший агент второго поколения с номером  $k\_min(2)$  и соответствующие времена  $t_{k\_min}(2)$ . Эта эволюционная процедура повторяется в течение ряда поколений, в результате чего начальные времена этапов приближаются к  $t_{OPT}$ .

В рамках иллюстративной модели было проведено компьютерное моделирование. Использовались следующие параметры моделирования.

Оптимальные времена вспашки, боронования, посева, опрыскивания и уборки урожая  $t_{OPT}$  полагались равными 100, 105, 110, 160 и 230 дней с начала года (считалось, что  $N = 5$ ). Ориентировочные значения начала этапов (которые предоставлялись агентам в самом начале эволюции)  $t_{10}, t_{20}, \dots, t_{N0}$  были равны 104, 108, 112, 150, 240, соответственно. Параметр варьирования начала этапов  $d$  был переменным. Численность популяции агентов составляла 10000. На рис. 1 приведены зависимости расстояния  $\rho_{k\_min}(t_{k\_min}(m), t_{OPT})$  до оптимума для наилучшего агента от номера поколения  $G$  для значений параметра варьирования  $d = 1, 3$  и 10 дней.

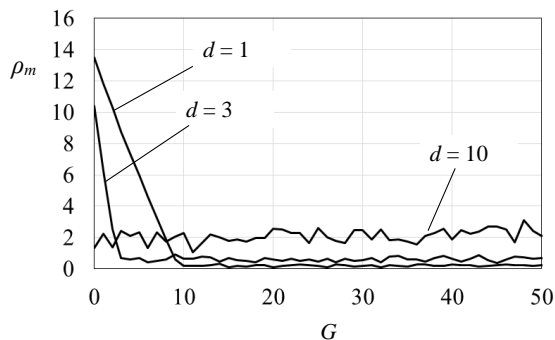


Рис. 1. Зависимости расстояния  $\rho_m = \rho_{k\_min}(t_{k\_min}(G), t_{OPT})$  до оптимума для наилучшего агента от номера поколения  $G$  для  $d = 1, 3, 10$

Рис. 1 показывает, что при большом значении параметра  $d = 10$  практически не происходит приближения к оптимуму. При  $d = 1, 3$  приближение к оптимуму происходит; с уменьшением  $d$  это приближение замедляется, но зато становится более эффективным. С ещё меньшими значениями параметра  $d$  приближение к оптимуму также замедляется и становится ещё более эффективным (рис. 2). Например, при  $d = 0.1$   $\rho_m$  уменьшается до величин порядка 0.02.

Итак, в нашей иллюстративной модели агент способен быть помощником людей и оптимизировать процесс выращивания пшеницы.

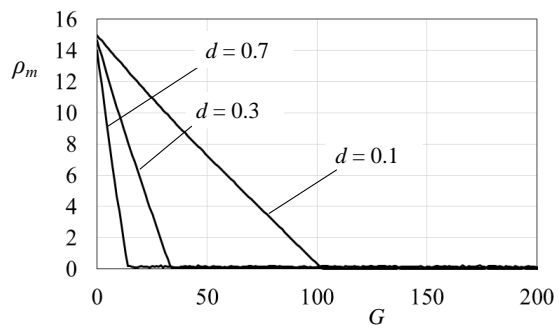


Рис. 2. Зависимости расстояния  $\rho_m = \rho_{k\_min}(t_{k\_min}(G), t_{OPT})$  до оптимума для наилучшего агента от номера поколения  $G$  для  $d = 0.1, 0.3, 0.7$

## 7. Заключение

Конечно, способности рассмотренного агента ещё далеки от полноценного научного познания, но у него уже формируются начальные шаги к такому познанию. Такой агент имеет и использует определённые понятия: время, число, солнце, ветер, тучи. Агенту несложно формировать близкие понятия: пространство, предмет, движение. Он способен анализировать причинные связи между событиями в окружающем мире. Агент способен анализировать простые явления природы. Иллюстративный пример показывает, что такой агент способен выполнять полезную работу.

Отметим возможности дальнейшего развития процессов познания когнитивным агентом. На наш взгляд, наиболее важно проанализировать пути, ведущие к научному познанию природы. Как отмечено в книге [4], важная способность, которая возникла на заре возникновения научного познания – критическое мышление, которое отличается от первобытного мышления тем, что возникает оценка мыслительного процесса самим мыслящим субъектом [4, гл. 8]:

«Критическое мышление рассматривает каждое объяснение (языковую модель действительности) наряду с другими, конкурирующими объяснениями (моделями), и оно не удовлетворится, пока не будет показано, чем данное объяснение лучше, чем конкурирующее».

В работе [7] проанализирована простая модель процесса формирования доказательства на основе использования критического мышления. Дальнейшее развитие научного познания должно включать возникновение аксиоматического метода. В работе [8] проанализирован вопрос: может ли компьютерный автономный агент сам «изобрести» аксиоматический метод и применить его в определенной математической теории?

Конечно, работы [7, 8] и настоящая модель

характеризуют только отдельные элементы пути к пониманию процессов возникновения и формирования научного познания. Эти работы, как и книги [1, 4] развивают основы моделирования когнитивной эволюции.

Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН по теме № FNEF-2024-0001 «Создание и реали-

зация доверенных систем искусственного интеллекта, основанных на новых математических и алгоритмических методах, моделях быстрых вычислений, реализуемых на отечественных вычислительных системах» (1023032100070-3-1.2.1). Автор благодарен З.Б. Соховой за плодотворные дискуссии.

## Cognition and Use of the Properties of Nature by a Cognitive Autonomous Agent

Vladimir G. Red'ko

**Abstract.** A model of a cognitive autonomous agent that cognizes simple properties of nature is constructed and analyzed. It is assumed that the agent develops the ability of primitive thinking; in particular, the agent has the ability to predict future events in the external world and has an elementary feeling of causality. The agent forms concepts characterizing the external world, observes and analyzes phenomena of the external world. An illustrative computer model of a cognitive autonomous agent using its abilities to perform certain useful work has been constructed and analyzed.

**Keywords:** cognitive autonomous agent, simple forms of thinking, cognition of elementary properties of nature, scientific cognition

### Литература

1. В.Г. Редько. Моделирование когнитивной эволюции: На пути к теории эволюционного происхождения мышления. Изд. 2, испр. и доп. М., URSS, 2019.
2. Л. Леви-Брюль. Первобытное мышление. М., Атеист, 1930.
3. Л. Леви-Брюль. Первобытный менталитет. СПб., «Европейский Дом», 2002.
4. В.Ф. Турчин. Феномен науки: Кибернетический подход к эволюции. М., Наука, 1993. См. также <http://www.refal.ru/turchin/phenomenon/> (дата обращения 06.03.2024).
5. Д. Юм. Исследование о человеческом познании. Соч. в 2-х томах, т. 2. М., Мысль, 1966, 5–169.
6. В.Г. Редько. Модель чувства причинности. «Труды НИИСИ РАН», Т.10 (2020), № 2, 34–38.
7. В.Г. Редько. От критических методов к процессам доказательств. «Труды НИИСИ РАН», Т.13 (2023), № 4, 123–126.
8. В.Г. Редько. Как автономный когнитивный агент может создавать аксиоматическую теорию. «Труды НИИСИ РАН», Т.13 (2023), № 1-2, 46–51.