

Моделирование поведения агента с учетом субъективных представлений о ситуации выбора¹

Аннотация. Рассматривается проблема построения модели принятия решений, учитывающая индивидуальный вклад человека (агента) в ситуацию выбора. Введено понятие ситуации целеустремленного выбора, предложены лингвистические оценки ее компонент. Такой подход позволил интегрировать в модель выбора психологические характеристики лица, принимающего решение.

Ключевые слова: принятие решений, ситуация выбора, модель принятия решений, агент, целеустремленное состояние.

Введение

Эффективность управления организационной системой во многом определяется пониманием принципов и правил принятия решений человеком. На данный момент для описания процесса принятия решения используются либо нормативная (рациональная), либо поведенческая модель принятия решения. В обоих вариантах человек (назовем его целеустремленный агент — ЦА) не сравнивает альтернативы, а оценивает возможные исходы. В первом случае это выполняется с помощью функции выигрыша, а во втором случае выбор связан с желаемым состоянием.

Большой вклад в разработку концепции принятия решений внесли Д. Канеман и А.Тверски [1]. Они показали, что модель рационального выбора, в основу которой положены аксиомы независимости, транзитивности, выпуклости и монотонности индивидуальных предпочтений, не позволяет объяснить многие наблюдаемые на практике аспекты поведения человека. В статье сделана попытка построить модель поведения человека путем интеграции результатов психологических исследований, теории целеустремленных систем [2] и теории поведения Канемана-Тверски.

1. Психологические аспекты формирования поведения

Поведение человека является результатом его когнитивной деятельности, которая придает ему целенаправленность. В психологии когнитивная деятельность рассматривается как процесс формирования мысленного образа (результата восприятия) и концептуальной модели познаваемых и анализируемых объектов, процессов, явлений. В соответствии с данной моделью, исходя из фиксированных в сознании установок, правил, обычаев, прошлого жизненного опыта, знаний вырабатывается отношение к наблюдаемому и анализируемому. Затем в зависимости от этого отношения и оценок степени адекватности объекта результату мысленного отображения и анализа субъект формирует свое поведение, вырабатывая программу действий своего участия (или различной степени участия вплоть до полного не участия) в событиях, процессах, явлениях, которые он считает важными для себя. Поэтому одним из возможных вариантов преодоления недостатков традиционных способов описания поведения агентов в организационной системе является модификация

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №10-070033

моделей рационального поведения путем включения в них, так называемых ненаблюдаемых переменных, которые являются характеристиками поведения человека, используемыми в психологии, социологии и т.п. Для этого можно, например, ввести в описание базовой модели параметр r , который будет характеризовать тип агента, причем $r \in B$, где B – множество типов агентов (r иначе можно назвать характеристикой агента) [3]. Целевая функция агента $f(\bullet)$ будет зависеть от состояния внешней среды $\theta \in \Omega$, результата деятельности $o \in A$, достигаемого агентом за счет реализации способа действия $c \in C$, управления со стороны центра $u(\bullet) \in U$ и типа агента r . Если сохранить гипотезу о рациональном поведении агента, то агент будет стараться получить результат $o^* \in A_o$, который будет максимизировать его целевую функцию $o^* = \underset{o \in A, c \in C}{\text{Arg max}} f(o, u, c, \theta, r)$.

Таким образом, можно строить предположения относительно функции $f(\bullet)$, наблюдая информацию:

$$s = F(\theta \in \Omega_o, z = G(o) \in A_o, q = H(c) \in C).$$

Такой подход должен использовать некоторую идеализированную конструкцию (модель), описывающую поведение ЦА при принятии решения.

2. Модель целеустремленного состояния

Целеустремленное поведение всегда связано с выбором, который происходит в ситуации целеустремленного состояния [2, 4]. Целеустремленное состояние складывается из следующих компонент:

- Субъект, осуществляющий выбор (целеустремленный агент – ЦА), $k \in K$.
- Окружение выбора S , под которым понимается множество элементов и их существенных свойств, изменение в любом из которых может стать причиной или продуцировать изменение состояния целеустремленного выбора.
- Доступные способы действий C_{ij}^k , $j = \overline{1, n}$ k -го агента, которыми он владеет и может использовать для достижения i -го результата (их еще называют альтернативами).
- Возможные при окружении S результаты (существенные для ЦА) - O_i^k , $i = \overline{1, m}$. Оценки результатов производятся с помощью некоторого набора параметров, которые называются выходными параметрами ситуации целеустремленного состояния.
- Способ оценки свойств получаемых результатов, в результате выбора способа действия. Очевидно, что оценки результата должны отражать ценность результата для ЦА и тем самым отражать его индивидуальность.
- Ограничения, отражающие требования, накладываемые ситуацией целеустремленного выбора на выходные переменные и управляющие воздействия.
- Субъективная модель ситуации принятия решения, которая представляет собой множество соотношений, описывающих зависимость управляющих воздействий, параметров и возмущений с выходными переменными.

Введем для описанных компонент меры, которые будут использоваться для оценки целеустремленного состояния.

1. *Влияющие факторы.* Будем считать, что ЦА способен выделять факторы – характеристики окружения $X^k = \{x_i^k, i = \overline{1, N}\}$. Влияние каждого фактора ЦА оценивает с помощью лингвистической переменной «Степень влияния фактора» со значениями $\mu^k(x_i^k) : x_i^k \rightarrow [0, 1]$.

Будем предполагать, что для формализации представлений о влиянии выделенных факторов на результаты $O_i^k, i = \overline{1, m}$ ЦА использует аппроксимацию в виде продукционных правил, которые

имеют вид: если x_1 есть A_{r1}^k и если x_2 есть A_{r2}^k и ... если x_N есть A_{rN}^k , то

$$O_i^k = f_{ir}^k(x_1, x_2, \dots, x_N), r = \overline{1, R}, i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где R – количество продукционных правил; r – номер текущего продукционного правила;

$O_i^k = f_{ir}^k(x_1, x_2, \dots, x_N)$ – четкая функция, отражающая представление ЦА о функциональной связи

входных факторов с возможными результатами для r -го правила (r -я частная модель); A_{ri}^k – не-

четкие переменные, определенные на $X^k = \{x_i^k, i = \overline{1, N}\}$.

В качестве функции $f_{ir}(\bullet)$ могут использоваться, например, авторегрессионные модели, словесное описание, графики, таблицы, алгоритмы вычисления т.д.

2. *Известные (доступные) ЦА способы действий.* Поскольку C_j^k является функцией параметров состояния внешней среды, принимаемых во внимание ЦА, функциональных и морфологических свойств системы, то набор предположений об их возможных значениях образует сценарий возможного состояния внешней среды, функциональных возможностей системы и возможности морфологического изменения системы.

Реализация сценариев, например, с помощью правил (1) позволяет сформировать представление о возможных результатах $O_{ij}^k, j = \overline{1, m^k}$, т.е. определяет неравнозначность при выборе спосо-

ба действия, которую можно описать как степень уверенности в необходимости применения способа действия. Эту оценку можно описать лингвистической переменной

$$\psi_{ijl}^k(O_{ijl}^k, C_{jl}^k) \in [0, 1], l = \overline{1, m^k}.$$

Эта мера является индивидуальной характеристикой ЦА, которая может меняться в результате обучения и приобретения опыта.

3. *Возможные результаты при данном окружении выбора.* Выбор способа действий при принятии решения агентом в ситуации целеустремленного состояния для достижения результата связан, как показано в [5], с построением количественной оценки свойств выбираемого решения. Выбор перечня свойств и параметров их характеризующих целиком зависит от ЦА. Представим возможные результаты при заданном окружении выбора ЦА в виде

$$O_i^k \in \{O_{ij}^k, j = \overline{1, J}\},$$

где O_{ij}^k – множество возможных результатов при выборе j -го способа действия $i \in I$ – множество

результатов, принимаемых во внимание k -м ЦА.

4. *Ценность результатов.* Наличие этого показателя следует из качественного предположения о том, что ЦА наделен способностью сравнивать блага, которые он приобретает при получении различных видов стимулирования результатов, с затратами труда, которые он должен для этого

приложить. Ценность j -го вида результата можно оценить следующей лингвистической переменной $\varphi_i^k(O_i^k(C_j)) \in [0,1]$.

5. *Эффективность действия* – это лингвистическая переменная, выражающая индивидуальную оценку ЦА последствий выбора с точки зрения затрат: финансовых, материальных, труда, интенсивности труда. Степень уверенности E_{ij}^k в том, что некоторый способ действия C_j^k будет приво-

дить к результату O_i^k в окружении S , если ЦА выберет именно его:

$E_{ij}^k = E_{ij}^k(O_i^k | A \text{ выберет } C_j^k \text{ в } S) \in [0, 1]$ позволяет оценить эффективность способа действия, выбранного ЦА.

3. Модель выбора целеустремленного агента

Определим ценность целеустремленного состояния по i -му результату для k -го ЦА в соответствии с правилом Сугено [5]

$$E\varphi_i^k = \frac{\sum_{j \in J} \varphi_{ijl}^k(O_{ijl}^k(C_{il}^k)) \cdot \psi_{ijl}^k(O_{ijl}^k, S_{ijl}^k)}{\sum_{l=1}^m \varphi_{ijl}^k(O_{ijl}^k(C_{il}^k))}.$$

По аналогии можно оценить ценность целеустремленного состояния для k -го ЦА по эффективности для i -го вида результата

$$EE_i^k = \frac{\sum_{j \in J} EE_{ij}^k(O_i^k(C_i^k)) \cdot \psi_i^k(C_j^k)}{\sum_{j \in J} \psi_i^k(C_j^k)}.$$

Оценка ЦА желательности целеустремленного состояния по i -му результату и эффективности его достижения в ситуации выбора задается в виде значений лингвистических переменных:

$$\chi_{i1}^k = \chi_1^k(E\varphi_i^k) \in [0,1], \quad \chi_{i2}^k = \chi_2^k(EE_i^k) \in [0,1].$$

В основе процесса взаимодействия личности и организации находятся психологический и экономический контракты. Они отражают существенные ожидания личности и соответствующие ожидания организации. Следовательно, можно определить следующие ограничения:

$$\sum_i \chi_{i1}^k(E\varphi_i^k) \geq \chi_1^0 \text{ и } \sum_i \chi_{i2}^k(EE_i^k) \geq \chi_2^0,$$

где χ_1^0 и χ_2^0 – ожидания ЦА от организации, которые отражают баланс между затратами и вознаграждением за достигнутые результаты.

При фиксированной функции вознаграждения ЦА в соответствии с гипотезой о рациональном поведении формирует решение в соответствии с

$$P_i(S) = \text{Arg max}(E\varphi_i(s_i, c_i))$$

$$s_i \in S_i, \quad c_i \in C_i(I_t^i), \quad I_t^i \subseteq M,$$

$$\chi(E\varphi_i) \geq \chi_0$$

где χ_0 - оценка ЦА максимального выигрыша, который он мог бы получить, выполняя другую работу. Очевидно, что, если $\chi(E\varphi_i) < \chi_0$, то следует ожидать, что ЦА выберет $c_i = 0$.

Эти правила означают, что существует ЦА, который находится в состоянии, когда он хочет получить какой-либо результат. Он располагает для этого несколькими альтернативными способами достижения с разной эффективностью, которыми он может попытаться достичь желаемого результата, и его уверенность в получении желаемого результата значительна.

4. Определение личности целеустремленного агента

Из перечисленных характеристик оценка степени влияния фактора, степень уверенности необходимости выбора способа действий, ценность результата, эффективность способа действия по каждому результату являются четырьмя измерителями личности (индивидуальности). Все остальные характеристики выводятся из них известными методами теории нечетких множеств.

Выше были определены ценность целеустремленного состояния по результату и ценность целеустремленного состояния по эффективности. Определим интегральный показатель ценности целеустремленного состояния для k -го индивида как $\sum_i E\varphi_i^k \cdot EE_i^k$. Затем, учитывая степень уверенности k -го ЦА в получении результата ζ_i^k , получим показатель ожидаемой удельной ценности целеустремленной ситуации

$$EV_k = \frac{\sum_i (E\varphi_i^k \cdot EE_i^k) \cdot \zeta_i^k}{\sum_i \zeta_i^k} \quad (2)$$

Из соотношения (2) следует, что если два субъекта находятся в одной и той же ситуации выбора, то разница в их поведении должна проявляться в значениях оценок удельной ценности по результату и эффективности и в степени уверенности достижения цели.

Поскольку входящие в (2) величины являются функциями компонент понимания ЦА ситуации выбора, то ожидаемая удельная ценность будет функцией ситуации выбора:

$$EV_k^k = f_k \left[\left\{ C_j^k \right\}, \left\{ O_i^k \right\}, S^k, \zeta_i^k \right].$$

Теперь можно определить ЦА как личность (его индивидуальность).

Личность (индивидуальность) ЦА: зависимость (в любой форме) $f(\bullet)$, связывающая ожидаемую удельную ценность результатов в ситуации выбора со свойствами возможных способов действий, их возможными результатами и принимаемыми во внимание как существенные переменными окружения.

Используя компоненты выбора в качестве независимых переменных можно получить представление о таких характеристиках психологической индивидуальности, как восприимчивость ситуации, привычность выбора, знания, стремления. Во всех четырех случаях необходимо вывести меру выбора действия на основе наблюдений выборов, реально производимых в управляемой ситуации выбора.

5. Модель нечеткого описания целеустремленного поведения агента

Цель реализуется через задачи, а решение задачи приводит к получению итогов [4,5,7]. Итог определяет желаемый для агента результат за небольшой период времени $t_1 \leq t \leq t_2$ в определенном окружении выбора s :

$$I(t, s) = \arg \max_{t_1 \leq t \leq t_2} \{EV_k^t(O_k^t, t, s, c_k^t) \mid O_k^t \in O, j \in J, s \in S, c_k^t \in C, t_1 \leq t \leq t_2\}.$$

Задача представляет последний желаемый результат агента в последовательности итогов $I(t, s), t_1 \leq t_i \leq t_m$. При этом

$$I_1(t_1, s_1) < I_i(t_i, s_i) < \dots < I_m(t_m, s_m).$$

Иными словами, задача описывается следующим выражением:

$$Z(t_m, s_m) = \max_{t_1 < t < t_m} I_k(t, s) \mid t_1 \leq t \leq t_m, s \in S\}.$$

Цель представляет собой недостижимый результат W . Но к нему можно неограниченно приближаться в последовательности решения задач $Z_v(t_v, S_v)$ на интервале времени $t_1 \leq t \leq t_v < t_n$. Причем

$$Z_1(t_1, S_1) < Z_2(t_2, S_2) < \dots < Z_v(t_v, S_v) < Z_n(t_n, S_n) = W^*$$

и правдоподобность достижения цели $P_v\{Z(t_v, S_v) \geq Z_n(t_n, S_n)\}$ (функция принадлежности «правдоподобность») неограниченно приближается с ростом n к 1. Это утверждение вытекает из свойства прогрессивности целеустремленной интеллектуальной системы [2, 7].

В процессе продвижения к задаче ожидаемая удельная ценность относительно результата O_k^t монотонно возрастает на интервале времени $t_1 \leq t \leq t_2$ и к цели на интервале времени $t_1 \leq t \leq t_v < t_m$: $I_m(t_m, s_m) > I_{m-1}(t_{m-1}, s_{m-1})$ и $Z_v(t_v, S_v) > Z_{v-1}(t_{v-1}, S_{v-1})$.

В процессе продвижения к цели и к задаче множество доступных агенту способов действия и множество возможных результатов могут быть фиксированными. В том случае, когда необходимо формировать в процессе продвижения дополнительно к старым новые способы действия и новые результаты, организуется их интерактивный поиск. Тогда

$$I(t, s) = \arg \max_{t_1 \leq t \leq t_2} \{EV_{jk}^t(O_j, t, s) \mid O_j(C_i) \in O, j \in J, O \in \{O\}, C_i \in C, i \in I, C \subset C', s \in S\} \quad (3)$$

6. Модель формирования представлений агента о состоянии целеустремленного выбора

6.1. Структура представлений агента о целеустремленной ситуации

Пусть A — ситуация целеустремленного выбора. При ее рассмотрении непосредственно в связи с действием, она может включать в себя: M — ограничения, C — способы действия, i — нормативные или идеальные элементы, ie — символические выражения нормативных или идеальных элементов, Ω — внешнюю среду. Целеустремленная ситуация в сознании агента существует в форме представлений и агент формирует представления по следующим компонентам целеустремленной ситуации:

- доступных для него способов действия;
- возможных результатов от реализации этих способов действия;

- возможных состояний окружения выбора (возможных значений неуправляемых переменных, которые могут повлиять на результаты от применения доступных способов действия, в том числе и представления других агентов);
- вероятностей того, что каждое возможное состояние окружения выбора окажется истинным;
- эффективностей каждого доступного способа действия по каждому возможному результату в каждом возможном состоянии окружения выбора;
- удельной ценности каждого возможного результата.

Специфика формирования представлений агентом состоит, в частности, в том, что он в качестве информации для корректировки своих представлений о неопределенном параметре может использовать не только результаты наблюдения за внешней средой, но и результаты наблюдения за действиями и результатами деятельности других агентов, пытаясь «объяснить», почему они выбрали именно эти действия.

Пусть $\theta \in \Omega$ – состояние природы, о котором агент с номером $k \in K$ имеет интервальную информацию $\omega_k(\theta) \subseteq \Omega$ о состоянии природы, т. е. $\forall \theta \in \Omega, \forall k \in K, \theta \in \omega_k(\theta)$.

Результат $o = G(\theta, c)$ системы зависит от вектора $c = (c_1, c_2, \dots, c_k) \in C' = \prod_{k \in K} C_k$ действий других агентов, связанных с k -м агентом, где $c_i \in C_i$, и θ – состояния природы.

Предположим, что удельная ценность выбора каждого агента зависит от состояния природы θ и результата o системы в целом: $EV_k(o) = f_k(\theta, G(c, \theta))$, $k \in K$. Будем считать, что множество агентов K , их результаты $\{o_k(\cdot)\}$, множества допустимых способов действия $\{C_k\}$, множество Ω возможных значений состояний природы, функция $G(\cdot)$ являются общим знанием. Каждый агент наблюдает вектор действий всех агентов, общий результат и результаты всех агентов.

Поскольку общий результат и удельная ценность результата для каждого агента зависит от действий всех агентов, то для описания их поведения можно использовать аппарат теории игр.

Обозначим множество параметрических (параметром является значение состояния природы) равновесий Нэша через:

$$E_N(\theta) = \{ \{c_k\}_{k \in K} \in C' \mid \forall k \in K, \forall x_i \in C_k; \\ f_k(\theta, G(\theta(c_1, \dots, c_k))) \geq f_k(\theta, G(\theta, c_1, \dots, c_{i-1}, x_i, \dots, c_{i+1}, \dots, c_k)) \}.$$

Если множество $\Omega_0 \subset \Omega$ возможных значений состояний природы является общим знанием среди агентов, то, предполагая, что они устраняют неопределенность вычислением максимального гарантированного результата, получим следующее множество равновесий их игры:

$$E(\Omega_0) = \{ \{c_k\}_{k \in K} \in C' \mid \forall k \in K, \forall x_i \in C_k; \\ \min_{\theta \in \Omega_0} f_k(\theta, G(\theta(c_1, \dots, c_k))) \geq \min_{\theta \in \Omega_0} f_k(\theta, G(\theta, c_1, \dots, c_{i-1}, x_i, \dots, c_{i+1}, \dots, c_k)) \}.$$

Обозначим $q(c) \subseteq \Omega$ – множество состояний природы, при которых наблюдаемый агентами вектор способов их действий является равновесием:

$$q(c) = \{ \theta \in \Omega \mid \exists \Omega_0 : \theta \in \Omega_0 \}.$$

Обозначим $g = (g_1, g_2, \dots, g_n) \in \mathbb{R}^n$ – наблюдаемый агентами вектор значений полученных ими результатов, которые они считают удовлетворительными.

Обозначим множество тех значений состояний природы, при которых (наряду с наблюдаемым результатом o) будут достигаться максимальные значения удельной ценности результатов выбора агентов g , через

$$\eta(g, o) = \{ \theta \in \Omega \mid f_k(\theta, z) = g_k, k \in K \}.$$

Тогда, поскольку вектор $g = (g_1, g_2, \dots, g_n) \in \mathbb{R}^n$ определяется через EV_k для каждого $k \in K$, то вектор $V = \{v_1, \dots, v_k\} \in \Theta^n$, будет определять требуемый уровень представлений агентов в ситуации целеустремленного выбора.

6.2. Адаптивный процесс формирования представлений

Возможность самостоятельного выбора агентом способа действия на основе собственных (субъективных) представлений о ситуации целеустремленного выбора для достижения цели (целей) является условием адаптивного, целенаправленного и самоорганизующегося поведения. В процессе адаптации агент:

- изменяет свои представления о свойствах и закономерностях внешней среды и объекта управления;
- изменяет свое поведение (способы действия на основе сформированных представлений), расширяет множество способов действия путем освоения новых способов действия;
- организует целенаправленное изменение внешней среды для получения для себя более выгодных ее состояний.

В первых случаях адаптация представлений агента определяется, с одной стороны, насколько он полно и правильно воспринимает, сознает и интерпретирует информацию о состоянии среды (целеустремленном состоянии [4]), а также его усилиями на сбор, обработку такой информации. С другой стороны, представления агента зависят от знаний, которыми он обладает, опыта и способов репрезентации (отражения) информации о ситуации целеустремленного выбора в памяти агента [7].

В соответствии с [7] будем считать, что агент субъективно рационален:

- 1) его интересы выражаются в субъективных оценках ценности $\varphi_{ij}(O_i(C_j)) \in [0,1]$ ожидаемых им результатов $O_i, i = \overline{1, n}$ от применения способов действия $C_j(\theta, E), j = \overline{1, m}$ на основе представлений о ситуации целеустремленного состояния Ω ;

- 2) рациональность поведения агента состоит в стремлении максимизировать удельную ценность ожидаемых результатов.

Выбор способа действия агента выполняется в условиях неполной информации и неопределенности.

В процессе анализа агент формирует свое представление о ситуации выбора в форме гипотезы, придавая наблюдаемым параметрам разную степень значимости и классифицируя их как свидетельства по признаку за или против. Затем усилия агента направлены как на поиск данных, подтверждающих выдвинутую гипотезу, так и на поиск данных, ее отрицающих. При этом он использует не всю информацию, а только ту, которую считает необходимой и достаточной для понимания процессов в предметной области.

Факты, опровергающие гипотезу, заставляют агента ее либо модифицировать, либо пересмотреть, включив в нее позитивные моменты из старой. Анализ данных позволяет сформировать вопросы (запросы) для подтверждения предположений, поиск информации для ответа, которые и являются основой для принятия или отбрасывания первоначальных представлений. Такая стратегия позволяет в условиях неполноты и недостоверности исходной информации сформировать непротиворечивые отношения между наблюдаемыми параметрами и представлениями агента.

6.3. Предположения, убеждения, сомнения и их оценки

Агент строит последовательность умозаключений об адекватности своих представлений в соответствии со своим субъективным уровнем убежденности [7].

Определение 1. Агент убежден в адекватности своих представлений в ситуации выбора типа Ω относительно цели G , если он считает, что выбор способа действия C на их основе позволит ее достичь. При этом:

- 1) он воспринимает часть характеристик X ситуации выбора Ω ;
- 2) относительно другой части он делает предположения и проявляет намерение доказать (проверить) их правдоподобность;
- 3) в аналогичных ситуациях выбора типа Ω , в которых он воспринимал присутствие (отсутствие) X и стремился к G , выбирая C , он всегда достигал G ;
- 4) когда он наблюдал отсутствие (присутствие) X в ситуации выбора типа Ω , он никогда не выбирал C для достижения цели G на основе данного представления.

Под предположением будем понимать принимаемое по умолчанию значение наблюдаемой характеристики или описание причинно-следственной связи между наблюдаемыми характеристиками.

Представления агента характеризуются уровнем убежденности.

Определение 2. Уровень убежденности агента в своих представлениях о ситуации выбора типа Ω относительно цели G определяется частотой ее достижения при выборе способа действия C на их основе.

Оценка уровня убежденности изменяется в пределах от нуля до единицы. Если число неудачных попыток достичь цели G при выборе способа действия C на основе представлений агента возрастает, то уровень убежденности агента уменьшается (и наоборот), что становится для него стимулом для приложения усилий по их модификации или полной реконструкции вследствие возрастания сомнения в правдоподобности сделанных предположений.

Наличие стремления проверить правильность предположений является мерой сомнений агента.

Определение 3. Усилия, которые затрачивает агент для доказательства (опровержения) предположений характеризует степень его сомнений относительно представлений о ситуации выбора типа Ω при стремлении к цели G .

Согласно положениям теории психологии поведения, если уровень убежденности, который по определению 2 зависит от количества подтверждений правильности выбора на основе представлений, возрастает, то стремление агента к проверке падает, так как он не видит в этом смысла. С другой стороны, возрастание степени сомнения агента является стимулом для поиска дополнительных аргументов (контраргументов).

Параметром, учитывающим эти две характеристики, является степень убежденности, рассматриваемая как

$$S_u = U_u^\alpha * (1 - S_s)^\beta \in [0, 1], \quad \alpha + \beta = 1,$$

где S_u – степень убежденности; U_u – уровень убежденности (прошлый опыт); S_s – степень сомнения агента в правильности своих представлений о ситуации выбора; α и β – коэффициенты значимости, которые агент придает своему опыту и необходимости поиска доказательств.

Предположение 1. Агенты при формировании своих представлений в той или иной форме используют аппарат аргументации для построения последовательности гипотез, сходящихся к субъективно истинной по убеждению [6].

Предположение 2. Агент, рассматривая наступившее событие A , считает, что его вызывает событие B . С другой стороны, наблюдая событие A , он делает заключение о возможности наступления события B .

6.4. Трансформация структуры представлений агента

У k -го агента имеются следующие источники информации о состоянии внешней среды [11]:

- 1) априорная частная информация $\omega_k(\theta) \subseteq \Omega$ (этот вид информации в литературе называется знанием, опыт);

2) действия других агентов: наблюдая их и предполагая, что оппоненты действуют рационально, агент может (при выполнении предположения об общем знании) оценивать информацию $q(c)$ о состоянии природы, на основании которой был выполнен выбор способа действия i -м агентом ($i \neq k$);

3) множество g результатов выбора агентов – на основании этой информации агенты могут сделать вывод о тех состояниях природы, при которых наблюдаемый результат приводит к наблюдаемым выигрышам;

4) множество $\rho \subseteq \Omega$ состояний природы, при которых наблюдаемый вектор действий агентов приводит именно к данному наблюдаемому значению o результата системы:

$$\sigma(c, o) = \{ \theta \in \Omega \mid G(\theta(c)) = o \}.$$

Согласно сделанному выше предположению информация пунктов 2-4 является общим знанием для агентов. Тогда справедливо соотношение

$$I(c, o, g) = q(c) \cap \sigma(c, o) \cap \eta(g, o) \subseteq \Omega.$$

На основе общего знания и собственных представлений каждый k -й агент может вычислить оценку $J_k \in \Omega$ значения состояния природы как пересечение общего знания $I(c, o, g)$ с его частной информацией ω_k : $J_k(\omega_k, c, o, g) = \omega_k \cap I(c, o, g)$ [11].

Пусть $c_k^t \in C_k$ – способ действия k -го агента для получения итога на шаге t , c^t – совокупность векторов действий всех агентов за t шагов. В момент получения итога на шаге t общим знанием среди агентов будет

$$I(c^t, o^t, g_t) = q(c^t) \cap \sigma(c^t, o^t) \cap \eta(g^t, o^t) \subseteq \Omega.$$

На основании всех источников информации k -й агент за t периодов может вычислить оценку $J_k^t \subseteq \Omega$ значения состояния природы как пересечение общего знания $I(c^t, o^t, g^t)$ с его частной информацией J_k^{t-1} , соответствующей предыдущему периоду:

$$J_k^t = J_k^{t-1} \cap I(c^t, o^t, g^t).$$

Вследствие роста удельной ценности результата для агента по мере продвижения к цели и в соответствии со свойствами процесса формирования представлений агентом $v_k^t(J_k^t) < v_k^{t-1}(J_k^{t-1})$, где $v_k^t(\bullet)$ – оценки убежденности агента в адекватности своей структуры представлений.

Таким образом, при выполнении гипотезы рационального поведения и гипотезы общего знания будет наблюдаться сходящийся процесс формирования представлений агента.

7. Оценки информированности в задаче нечеткого выбора

В ситуации неполной информации, знания или дефицита времени ЛПП строит модель предметной области, временно исходя из правдоподобных предпосылок, относительно которых у него нет достаточных доказательств (например, наличия подтверждающей информации) [8,9]. Комплекс таких предпосылок, идей, взглядов направлен на объяснение явлений, процессов и связей между ними в конкретной предметной области и они образуют гипотетическую концепцию агента, которая понимается как *предположительное, субъективное знание*.

Оценка качества субъективного знания выступает в форме убеждения, которое, в свою очередь, является мерой степени уверенности в не полностью определенном предположении. Убеждения оказывают влияние на выбор способа действия агентом, на оценку эффективности, которую он приписывает выбранному способу действия по отношению к возможным результатам при различ-

ных состояниях внешней среды. Поэтому естественно предположить, что агент способен обосновать свои убеждения.

Выводы (заключения), которые делаются на основе гипотетической концепции (субъективной теории), определяют у ЛПР *состояние убежденности* в своем субъективном понимании целеустремленного состояния. Устойчивость состояния убежденности зависит от частоты и длительности удачных результатов относительно цели (*O*) за счет истинности принимаемых предпосылок, гипотез, корректности правил построения вывода (т.е. гипотетической концепции в целом).

Если результат, полученный от реализации решения, сформированного на основе субъективных представлений ЛПР, не соответствует его ожиданиям и формирует в нем *состояние сомнения* относительно целеустремленного состояния, то он реализует немонотонный процесс пересмотра убеждений, который предполагает изъятие ошибочной предпосылки и/или введения новой предпосылки, корректировки правил вывода. Новые убеждения, таким образом, являются следствием новой информации, полученной как от системы вывода, так и от системы мониторинга решений.

7. 1. Оценки убежденности

Определение 4. Пусть нечеткие множества $A \subseteq X$ и $B \subseteq X$, где X – четкое множество. Пусть для каждого нечеткого множества определены множества α -уровня следующим образом:

$$A_{\alpha} = \{x \in X : \mu_A(x) \geq \alpha\} \quad B_{\alpha} = \{x \in X : \mu_B(x) \geq \alpha\},$$

где $\mu_A(x)$ и $\mu_B(x)$ – функции принадлежности, значения которых выражают степень уверенности агента в принадлежности элемента x множествам A и B соответственно.

Тогда альтернатива a будет предпочтительнее альтернативы b , тогда и только тогда, когда $x_a > x_b$, $\forall x_a \in A_{\alpha}(x)$, $x_b \in B_{\alpha}(x)$, т.е. A больше B на уровне α .

Обозначим через $\underline{\alpha}$ минимальное значение α , при котором выполняется неравенство $x_a > x_b$, $\forall x_a \in A_{\alpha}(x)$, $x_b \in B_{\alpha}(x)$. Тогда $1-\underline{\alpha}$ будет *степенью уверенности* в предпочтительности a относительно b и безразличие при выборе a или b . Формально это можно записать как $A \geq B: (1-\underline{\alpha})$.

По аналогии, если A_{α} содержится в B_{α} , т.е. $A_{\alpha} \subseteq B_{\alpha}$, то говорят, что A содержится в B на уровне α .

Так же, как и в предыдущем случае, можно ввести оценку степени уверенности $1-\underline{\alpha}$, где $\underline{\alpha}$ – это минимальное значение α , при котором будет справедливым $A_{\alpha}(x) \subseteq B_{\alpha}(x)$, то можно говорить, что $A_{\alpha}(x) \subseteq B_{\alpha}(x)$ со степенью уверенности равной $1-\underline{\alpha}$.

Величину $1-\underline{\alpha}$ можно считать *мерой уверенности* ЦА в предпочтительности одной альтернативы над другой. Если величина $\rho=1-\underline{\alpha}$ возрастает (или $\underline{\alpha}$ уменьшается) утверждение A больше B (или A содержится в B) становится более ясным. При $\underline{\alpha}=0$ любой элемент, принадлежащий нечеткому множеству, будет для ЦА достоверно принадлежать только этому множеству.

7.2. Уверенность и информация

Введение меры степени уверенности при сравнении альтернатив позволяет:

- Определить степень достаточности информации для принятия решения. При значении степени уверенности ниже некоторого порога принятие решения откладывается для сбора дополнительной информации.
- Определить ценность для ЦА собранную дополнительную информацию. Она может быть равной нулю, если степень уверенности не изменится после ее получения. Если величина $\rho=1-\underline{\alpha}$ выросла, то информация способствовала росту степени представления ЦА о ситуации выбора. Если

$\rho_i(\alpha_i) < \rho_{i-1}(\alpha_{i-1})$, то либо имеет место дезинформация, либо полученные данные разрушают представление ЦА о ситуации выбора и требуются новые данные.

Значение пороговой величины степени уверенности зависит от индивидуальных характеристик ЦА: более осторожный человек потребует, чтобы степень уверенности была бы высокой; решительный, привыкший рисковать – менее высокой. Это позволяет сформулировать меру для количественной оценки типа ЦА.

Величина $\Delta\rho_i = \rho_i - \rho_{i-1} > 0 (< 0)$ позволяет определить направление поиска информации.

Пусть имеются два высказывания: $p \equiv X$ есть G и $q \equiv X$ есть F , где F и G – предикаты, представленные в виде нечетких множеств. Тогда, если $G \subset F$, $p \Rightarrow q$ (p влечет q), это означает, что первое высказывание более информативно, чем второе.

Таким образом, степень уверенности при сравнении объектов для ЦА описывает оценку степени разделения множеств, характеризующих каждый объект. Степень уверенности при поступлении более ценной информации не должна уменьшиться по сравнению со степенью уверенности, сформированной на основе данных прошлого опыта. Следовательно, изменение информированности ЦА приводит к изменению его представлений и как следствие к изменению $\mu_A(x)$ и $\text{supp}A$, и

они могут быть использованы в качестве мер информированности ЦА.

Достижение эффекта $G \subset F$ требует увеличения числа учитываемых при описании свойств. При этом каждый добавляемый признак должен увеличивать степень уверенности в различении объектов.

Увеличение числа признаков может привести к двум ситуациям:

1. Новая информация увеличивает степень уверенности в $G \subset F$, т.е. утверждение с новым признаком является более информативным, чем такое же утверждение, но без него.
2. Если сравниваются два объекта с одним и тем же количеством оцениваемых свойств, к которым добавляется еще одно свойство, но его значение у обоих объектов имеет трудно различимую величину, то добавочная информация не повышает степень уверенности в различимости объектов, но и не уменьшает ее.

Третий момент связан с использованием либо редуцированной информации, либо косвенной информации при принятии решения. В этом случае уменьшение информации не оказывает положительного влияния на степень уверенности в правильном разделении объектов.

8. Модель построения множества согласованных представлений

В соответствии с данным подходом процесс построения множества согласованных представлений с применением фокус – групп будет иметь следующую структуру [9].

1. Согласованная субъективная оценка пессимистического, вероятного и оптимистического окружения активной системы $s_\mu \in \{s_{\mu, \text{пес}}, s_{\mu, \text{вер}}, s_{\mu, \text{опт}}\}$ и его вероятностей $p(s_\mu)$.

2. Согласование представлений k агентов о возможных результатах $o_j \in O^k = \{o_j \mid j = 1, 2, \dots, m\}$

в виде согласованного множества $O = \bigcap_{k \in K} O^k$. Согласованная субъективная оценка вероятности

возможных результатов $p(o_j \mid s_\mu)$, $\sum_{j \in J} p(o_j \mid s_\mu) = 1$.

3. Согласование представлений k агентов о применяемых критериях оценки возможных результатов $z_l \in L^k$ в виде множества $z \in Z = \bigcap_{k \in K} Z^k$.

4. Согласование представлений k агентов об относительной удельной ценности возможных результатов, которая должна быть не меньше представления агентов о субъективной ее оценке V_j^k с учетом коэффициента ε - согласования, параметров $\varepsilon_{ком}$, $\varepsilon_{сот}$ сотрудничества и компромисса или с учетом условий гарантированного согласования $g(\varepsilon_{ком}, \varepsilon_{сот})$ т.е.

$$V_j^k = V(Z(o_j)) \geq V_{cj}^k \equiv \varepsilon(\varepsilon_{ком}, \varepsilon_{сот}) \times V_j^k \text{ или}$$

$$V_j^k = V(Z(o_j)) \geq V_{cj}^k \equiv V_j^k - g(\varepsilon_{ком}, \varepsilon_{сот}).$$

Проверка и корректировка этапов 1,2,3.

5. Формирование в фокус – группах представлений агентов о подспособах действия c_{iv}^k , обеспечивающих выполнение выбранного результата в каждом окружении, и о мерах их правдоподобности $p_{iv}^k(c_{j\mu}^k | o_j, s) \geq p_{зад}^{civ}$.

6. Формирование в центре информационного управления согласованных представлений о способах действия $c_i = c_i(c_{i1}^k, \dots, c_{iv}^k, \dots, c_{iA}^k)$ и о мерах их правдоподобности $p(c_i | c_{iv}^k, o_j, s) \geq p_{зад}^{ci}$.

7. Формирование в фокус-группах представлений агентов о мерах привычности, знания, понимания способов действия и мере стремления к способам действия, включенных в модель ситуации выбора активной системы

$$p_{np}^k(c_i) \geq p_{зад}^{np}, \quad p_{зн}^k(c_i | c_{iv}^k) \geq p_{зад}^{зн}, \quad p_{пон}^k(c_i | o_j, s) \geq p_{зад}^{пон}, \quad p_{стр}^k(c_i | o_j) \geq p_{зад}^{стр},$$

и определение по ним вероятностей выбора способов действия агентами.

Проверка и корректировка. Принятие решений о диагностике, коучинге или тренинге.

8. Согласование представлений о модели ситуации выбора по ожидаемым удельным ценностям целеустремленных агентов:

$$EV(O, C, g, p_{зад}^k, s) \geq EV^k \equiv EV^k - g(\varepsilon_{ком}, \varepsilon_{сот}),$$

$$EV(O, C, g, p_{зад}^k, s) \geq EV^k \equiv \varepsilon(\varepsilon_{ком}, \varepsilon_{сот}) \times EV^k, \quad O = \{o_j | j = 1, 2, \dots, m\},$$

$$EV(O, C, g, p_{\text{зад}}, s_{\mu}) = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{v \in \Lambda} \sum_{\mu \in M} V(K(o_j)) \times$$

$$\times p(o_j | c_i, c_{iv}, s_{\mu}) \times p(c_i | c_{iv}, s_{\mu}) \times p(c_{iv} | s_{\mu}) \times p(s_{\mu}),$$

$$C = \{c_i | i = 1, 2, \dots, n\}, p_{\text{зад}} = (p_{\text{зад}}^c, p_{\text{зад}}^{ci}, p_{\text{зад}}^{civ}, p_{\text{зад}}^{np}, p_{\text{зад}}^{zn}, p_{\text{зад}}^{non}, p_{\text{зад}}^{cm}),$$

$$EV^k(O, C, g, p_{\text{зад}}, s_{\mu}) = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sum_{v \in \Lambda} \sum_{\mu \in M} V(K(o_j)) \times$$

$$\times p^k(c_i | c_{iv}, o_j, s_{\mu}) \times p^k(c_{iv} | o_j, s_{\mu}) \times p^k(o_j | s_{\mu}) \times p(s_{\mu}).$$

Условием согласования является получение каждым k -м агентом ожидаемой удельной ценности не меньше его субъективной оценки справедливого, по его мнению, выигрыша. Он определяется субъективной оценкой агента максимально возможного в данной ситуации выигрыша и коэффициентом согласования, зависящего параметров агента к сотрудничеству и компромиссу или с учетом условий гарантированного согласования $g(\epsilon_{\text{ком}}, \epsilon_{\text{com}})$.

9. Оценка удовлетворенности и убежденности. Принятие решений о необходимости усовершенствования или уравнивания элементов полученной модели ситуации выбора активной системы (обеспечение свойства внутренней устойчивости), или поиска новых на основе аналогов и сравнения (обеспечение свойства внешней устойчивости).

Заключение

В статье рассмотрен подход к моделированию принятия решений человеком на основе его субъективных представлений о ситуации целеустремленного выбора. Для описания понимания субъектом свойств ситуации выбора введен ряд показателей, по которым могут быть получены лингвистические оценки, а значит, и нечеткие числовые оценки. Это позволяет повысить степень адекватности моделирования действий людей в различных ситуациях и более точно предсказывать их поведение при различных способах управления.

Литература

1. Kahneman D., Tversky A. Prospect Theory: an Analysis of Decision Under Risk // *Econometrica*, Vol. 47, №2. (mar., 1979). – pp. 263-292.
2. Акофф Р., Эмери Ф. О целеустремленных системах. М.: Сов. Радио. 1974.
3. Новиков Д.А. Современные проблемы теории управления организационными системами. В кн.: Человеческий фактор в управлении. Под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. – М.: КомКнига, 2006. – с. 391-407.
4. Виноградов Г.П. Модель поведения интеллектуального агента. Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов V-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 28-30 мая 2009 г.). – М.: Физматлит, 2009. – С.443-455.
5. Виноградов Г.П. Моделирование принятия решений интеллектуальным агентом. Программные продукты и системы. 2010. № 3. – С. 45 – 51.
6. Виноградов Г.П., Кирсанова Н.В., Федотов Р.С. Оценки убежденности об уровне информированности интеллектуального агента в задаче нечеткого выбора. Труды двенадцатой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2010 (20-24 сентября 2010 г., Тверь, Россия). Т.1. – М.: Физматлит, 2010. – С. 21 – 28.
7. Бурков В.Н., Виноградов Г.П., Кузнецов В.Н., Палюх Б.В., Семенов Н.А. Интеллектуальные активные системы. Труды двенадцатой национальной конф. по искусственному интеллекту с межд. участием. Т.3. М.: Физматлит, 2010. – С. 35 – 43.
8. Виноградов Г.П. Моделирование процесса формирования представлений интеллектуального агента о состоянии целеустремленного выбора. Проблемы информатики, 2010. №3. – С. 66-72.

9. Виноградов Г.П., Кузнецов В.Н., Семенов Н.А. Модель представлений и убеждений агента о состоянии целеустремленного выбора. Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям "AIS-IT'10". Научное издание в 4-х томах. – М.: Физматлит, 2010. Т.1. – С. 119-123.
10. Виноградов Г.П. Модель согласования представлений агентов интеллектуальной системе. // Известия ЮФУ. Технические науки. – , 2009, № 12 (101). – С. 109-114.
11. Новиков Д. А. Математические модели формирования и функционирования команд. – М.: Физматлит, 2008.

Виноградов Геннадий Павлович. Старший научный сотрудник, профессор Тверского государственного технического университета. Окончил Калининский политехнический институт в 1971 г. Кандидат технических наук. Автор более 130 печатных работ. Область научных интересов: искусственный интеллект, теория принятия решений, многоагентные системы. E-mail: Wgp272ng@mail.ru.

Кузнецов Владимир Николаевич. Профессор Тверского государственного технического университета. Окончил Калининский политехнический институт в 1970 г. Доктор технических наук. Автор более 120 печатных работ. Область научных интересов: искусственный интеллект, теория принятия решений, интеллектуальные активные системы. E-mail: Wgp272ng@mail.ru.