

Э.В.Чепиков

ПОИСК СТРАТЕГИЙ ПОВЕДЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА В ХОДЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Создание современной интеллектуальной системы с совместным участием человека и машины, предназначенной для поддержки принятия решений человеком в организационных структурах управления и в условиях многоцелевой деятельности, невозможно без создания модели поведения человека. При этом основой принятия решений является система знаний не только о конкретной решаемой задаче пользователя, но и обо всех аспектах его деятельности, так или иначе влияющих на решение.

Деятельность человека-оператора можно рассматривать с разных точек зрения: как элемент цепи управления, как систему обработки запросов, как систему принятия решений. Для каждого из этих подходов используются различные модели: в виде передаточной функции, в терминах модели системы массового обслуживания, в виде конечного недетерминированного автомата. В настоящей работе использовалась модель человека-оператора, основанная на описании поведения нечетким недетерминированным автоматом [1]:

$$A = \langle U, X, Y, s_0, \delta, \sigma \rangle, \quad (1)$$

где $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ – конечное множество входов, $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ – конечное множество состояний, $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_p\}$ – конечное множество выходов, $\delta: X \times U \times X \rightarrow \{0, 1\}$ – функция переходов, $\sigma: X \times U \times Y \rightarrow L$ – функция выходов, s_0 – начальное состояние.

Множество X в модели (1) представляет как набор подзадач, на которые разбивается деятельность по выполнению основной задачи. При подобном рассмотрении цель деятельности декомпозируется на i последовательных (по времени выполнения) этапов. Будем интерпретировать X_i как множество возможных результатов i -го этапа, $Y_j, j \in J = \{1, \dots, p\}$ – как множество интервалов времени на достижение конечного этапа. Очевидно, что в рассматриваемом типе автомата $m=n$ и может трактоваться как число последовательных этапов (шагов) достижения цели.

Так как процесс деятельности может быть охарактеризован показателями продвижения к поставленной цели во времени, то L будем рассматривать как эффективность, связанную с реализацией выбранного способа деятельности U_k^v на интервале времени Y_j и полученным результатом X_i^r . Показателями эффективности являются достижение цели в заданное время и с заданным расходом ресурсов, качество выполнения работ. В качестве ресурсов могут рассматриваться финансы и психофизиологические показатели. Поскольку эффективность деятельности является интегральной оценкой, то необходимо определить, какая из операций свертки наилучшим образом соответствует реальной обобщенной оценке оператора потенциальной эффективности деятельности.

В случае равнозначности показателей можно выделить три основных стратегии оператора при свертывании отдельных показателей: обобщенная оценка не может быть лучше наихудшей из частных оценок (операции конъюнкции); обобщенная оценка обусловлена наилучшей из частных оценок (операции дизъюнкции); компромиссная стратегия - обобщенная оценка находится на промежуточном уровне между частными оценками (операции осреднения). На практике обычно применяется компромиссная стратегия, для которой в качестве операции свертки-

вания показателей можно взять медиану, определяемую для некоторого порога $\alpha \in (0, 1)$:

$$\text{med}(x, y, \alpha) = \begin{cases} y, & \text{если } x \leq y \leq \alpha; \\ \alpha, & \text{если } x \leq \alpha \leq y; \\ x, & \text{если } \alpha \leq x \leq y. \end{cases}$$

В случае неравнозначности показателей по важности каждому из них назначается некоторый вес последующим суммированием этих весов в рамках операции свертки. Весовой коэффициент p_i характеризует значимость показателя по отношению к обобщенной оценке:

$$\sum_{i=1}^q p_i x_i; \quad \sum_{i=1}^q p_i = 1,$$

где q – количество показателей, x_i – частные оценки показателей.

В соответствии с (1) функция δ порождает множество нечетких матриц перехода $T_U = \{\delta_{X_i, X_j}(U)\}, 1 \leq i \leq j \leq n$; функция σ порождает нечеткую матрицу выхода $\sigma = \{\sigma_{X_i, Y_j}(U)\}, 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq p$. Среди множества состояний автомата выделяется множество финальных (заключительных) состояний X_n . Нас будут интересовать такой тип автомата, для которого каждое состояние $X_i, i \in I = \{1, \dots, n\}$ зависит от предыдущего состояния X_{i-1} . Подобная зависимость может определяться последовательностью реализации подцелей, приоритетом выполнения и т.п.

Способы прохождения этапов деятельности и состояния подзадач, протекающие во времени, будем трактовать как нечеткие события на интервале $Y_j, 1 \leq j \leq p$. При таком подходе функция переходов может задаваться экспертным путем и отражать уже имеющийся опыт. Для учета личностных особенностей выполнения подзадач конкретным оператором необходимо построить индивидуализированную функцию переходов. С этой целью учитывается исходная информация от оператора, заключающаяся в задании прогноза использования того или иного способа освоения материала в зависимости от возможных результатов тестирования в виде функции $\mu: X_i \times U_k \rightarrow [0, 1]$, а также прогноза перехода управляемого процесса обучения из исходного состояния s_0 на первом шаге решения в зависимости от ограничений на имеющиеся ресурсы. На основе этой информации программируется автоматная модель. Для этого на каждом шаге решаются композиционные уравнения вида [2]:

$$\begin{aligned} \mu(X_i)/U_k &= \mu(X_{i-1})/U_{k-1} \circ \delta(X_{i-1}, X_i)/U_k; \\ \mu(U_k) &= \mu(X_{i-1}) \circ \mu(X_{i-1}, U_k), \end{aligned} \quad (2)$$

где “ \circ ” – знак операции “композиция”; $\mu(X_i)/U_k, \mu(X_{i-1})/U_{k-1}$ – нечеткие оценки возможности управляемого процесса находиться в состояниях X_i, X_{i-1} при применении способов выполнения подцелей U_k и U_{k-1} , соответственно; $\mu(U_k)$ – нечеткая оценка выбора оператором способа достижения подцели U_k .

Полученные в (2) оценки группируются попарно “способ достижения подцели” – “результат деятельности”, исходя из следующего условия $\mu(U_k) \leq \mu(X_i)/U_k$. Формирование пар по такому принципу согласуется с реальным выбором решения: результату с максимальной оценкой возможности должен соответствовать

способ достижения подцели также с максимальной оценкой применения его человеком-оператором. Выделение пар позволяет выявить наиболее возможные связи по способам деятельности между состояниями подзадач. Дополнительно каждый способ деятельности, маркирующий связь, характеризуется нечеткой оценкой использования его оператором и нечеткой оценкой эффективности деятельности (нормированный доход), субъективно осознаваемой оператором, в зависимости, например, от времени, материальных затрат на деятельность, ценности ожидаемого результата.

Для того чтобы исключить из рассмотрения слабые связи между состояниями фаз деятельности, введем порог ω , который определяется экспертом и учитывается при построении индивидуальной модели поведения оператора. Исключение из рассмотрения слабых связей между состояниями фаз осуществляется следующим образом. Для каждого этапа деятельности решаются уравнения (2) и при формировании пар “способ достижения подцели” – “результаты деятельности” исключаются пары с оценкой $\mu(U_l^y, X_l^r) < \omega$. Процесс исключения слабых связей повторяется для каждого этапа деятельности. Таким образом, при выявлении возможных вариантов поведения человека-оператора для достижения цели рассматриваются только пары “способ достижения подцели” – “результат деятельности” с нечеткими оценками выше установленного порогового значения ω .

Результаты моделирования поведения оператора более наглядно можно представить в виде ориентированного графа. Построение осуществляется следующим образом. Из исходного состояния в состояния первого этапа деятельности проводятся дуги, маркированные теми способами достижения подцели, использование которых, в соответствии с прогнозом оператора, позволит добиться положительных результатов на первом этапе деятельности, и эти способы характеризуются наибольшей оценкой. В зависимости от означивания этих дуг и на основе сформированных пар “способ достижения подцели” – “результаты тестирования” проводятся означенные дуги от первого до n -го этапа деятельности. В результате построений получаем представленный в виде ориентированного графа нечеткий недетерминированный автомат, моделирующий поведение оператора при различных результатах деятельности на каждом этапе.

Применяя подход, используемый в динамическом программировании, можно выделить классы стратегий оператора. В первую очередь нас будет интересовать тот класс, стратегии которого позволяют достичь цели деятельности и характеризуются максимальными оценками связей между результатами тестов. Для выделения таких стратегий на множестве возможных финальных результатов определяются результаты, соответствующие цели деятельности. Далее выделяются результаты тестирования на $(n-1)$ -м шаге, переход из которых в целевые состояния n -го шага характеризуется способами достижения подцели с оценкой, равной

$$\alpha(U_{n-1}) = \max_{Y_{n-1}} (g(\mu(U_{n-1}), \sigma_{X_{n-1}, U_{n-1}})), \text{ где } g(x, y) = \frac{\min(x, y)}{1 - |x - y|}.$$

Подобная процедура осуществляется для каждого шага решения, вплоть до состояния s_0 . Использование процедуры позволяет выделить возможные стратегии деятельности, представляющие собой взвешенные пути на графе от вершины s_0 до вершин из множества X_n . Каждый q -й путь представляет собой взвешенную, относительно способов достижения подцели, последовательность вида

$$S_q = (s_0, U_0, X_1^r, U_1, \dots, X_{n-1}^r, U_{n-1}, X_n^r),$$

где $r_i, i=\overline{1,n}$ – число результатов i -го этапа. Элементы множества X_n могут представлять для человека-оператора различную ценность, что отражается заданием на X_n нечеткой цели с функцией принадлежности $\mu(g) = \{\mu(X_n^1), \dots, \mu(X_n^h)\}$, где h – размерность множества X_n ; $\mu(X_n^\pi)^\pi = \overline{1,h}$ – функция принадлежности результата тестирования X_n^π нечеткой цели g . В этом случае каждую стратегию из класса π можно оценить следующим образом:

$$\beta(S_q^\pi) = \min(\alpha(U_0), \alpha(U_1), \dots, \alpha(U_{n-1}), \mu(X_n^\pi)). \quad (3)$$

Очевидно, что стратегия, имеющая оценку $\max_q(\beta(S_q^\pi))$, наиболее соответствует индивидуальному стилю принятия решений человека-оператора, но не всегда может соответствовать максимальной функции принадлежности состояния цели g . Полученное противоречие при построении модели поведения оператора можно избежать, используя следующие способы:

- изменением предпочтений человека-оператора;
- изменением исходных матриц переходов и выходов;
- использованием такой организации управления на основе модели поведения оператора, которая бы учитывала только конечную цель, т.е. состояние нечеткой цели с максимальной функцией принадлежности.

В последнем случае используются смешанные стратегии, т.е. стратегии, образованные частями стратегий из классов π . Необходимость в формировании смешанной стратегии определяет трансформацию стратегии, из некоторого класса, выбранной исходя из критерия $\max_q(\beta(S_q^\pi))$, в стратегию из другого класса, исходя

из критерия $\max_\pi(\mu(X_n^\pi))$. Очевидно, что необходимость в трансформации

возникает в тех случаях, когда выбранная исходная стратегия перестает быть эффективной по отношению к нечетко заданной цели. При этом важно определить те пространственно-временные точки графа (вершины), где подобная трансформация возможна, т.е. такие вершин, для которых существует стратегия, позволяющая достичь цели обучения с максимальной функцией принадлежности. Суть подхода состоит в вычислении коэффициента свободы выбора (КСВ), качественно оценивающего уровень возможности обучаемого в выборе альтернатив управления. Чем больше существует вариантов управляющих решений, тем большее значение принимает КСВ. Под КСВ понимается отношение числа допустимых стратегий из класса S_q^π с $\beta(S_q^\pi) \geq \varepsilon$ к общему числу стратегий из этого же класса. Здесь ε означает порог возможностей человека-оператора в достижении поставленной им цели, используя индивидуальный стиль поведения. Очевидно, что чем меньше значение КСВ, тем меньше у оператора вариантов в достижении поставленной цели, без изменения индивидуальной стратегии.

Обобщенный алгоритм построения модели поведения человека-оператора состоит в следующем:

1) строится предварительная модель поведения человека-оператора. Для этого определяется число этапов, на которые разбивается деятельность $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$. Выделяются возможные результаты деятельности для каждого этапа X_i^r . Определяются способы достижения подцелей для каждой подцели $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$, U_k^v и интервалы времени на их выполнение $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_p\}$. Эксперт-

ным путем, либо на основе экспериментальных данных задаются матрицы переходов из состояний одного этапа деятельности в состояния другого этапа при использовании одного из способов достижения подцели;

2) перед началом деятельности человек-оператор задает деятельности $\mu(g) = \{\mu(X_n^l), \dots, \mu(X_n^h)\}$, где h – размерность множества X_n , а также прогноз использования предлагаемых способов достижения подцели U_k^v на каждом этапе X_i для всех возможных результатов деятельности X_i^r . Все прогнозы для процесса деятельности задаются также в виде матриц (поскольку табличная форма определения автоматной модели является удобной и наглядной). Кроме того, оператором задаются функции выходов автоматной модели в виде матриц, т.е. определяются возможные доходы (расходы) для каждого возможного результата деятельности в модуле X_i^r при выборе конкретного способа достижения подцели U_k^v и затраченного при этом времени Y ;

3) на основе полученных данных строится модель поведения нечеткого ориентированного графа. Кроме маркировок способами достижения подцелей, каждая дуга графа взвешена нечеткими оценками переходов из состояния в состояние, а также оценками расходов человека-оператора при использовании соответствующих способов достижения подцелей;

4) используя методологию динамического программирования, выделяются на графе стратегии человека-оператора $S_q = (s_0, U_0, X_1^{r_1}, U_1, \dots, X_{n-1}^{r_{n-1}}, U_{n-1}, X_n^{r_n})$. Для этого определяются пересечения нечетких оценок целей и оценок способов достижения подцелей. Далее формируются классы стратегий человека-оператора (в соответствии с возможными состояниями цели $\mu(g) = \{\mu(X_n^l), \dots, \mu(X_n^h)\}$). Каждая стратегия оценивается на основе (3);

5) определяются стратегии человека-оператора, соответствующие индивидуальному стилю принятия решений, исходя из критерия $\max_q(\beta(S_q^\pi))$. В тех случаях, когда выбранная исходная стратегия перестает быть эффективной по отношению к заданной цели, осуществляется трансформация стратегии человека-оператора в стратегию, позволяющую достичь цели деятельности, исходя из критерия $\max_\pi(\mu(X_n^\pi))$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Astanin S.V. The Behavior Model of Strategic Controlling//5th European Congress on Intelligent Techniques & Soft Computing, Aachen, Germany September 8-11, 1997, V.1.
2. Астанин С.В. Нечеткая автоматная модель стратегического управления// Изв. ТРТУ. Интеллектуальные САПР. –Таганрог: Изд-во. ТРТУ, 1997.