ВОПРОСЫ ПСИХОЛОГИИ

№ 4 1971

КОРОТКИЕ СООБЩЕНИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫБОРА РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИГРЫ СЛУЧАЙНЫХ АВТОМАТОВ

Б. А. ГОЛОВКИН, А. В. РОДИОНОВ

(Москва)

Изучению особенностей поведения человека в ситуациях поединка в последнее время придается все большее значение. Это объясняется тем, что результаты экспериментов с моделированием тактики поведения при единоборстве позволяют развить теоретические положения, распространяемые на многие отрасли антропологических наук. При этом создаются некоторые предпосылки для описания психологических механизмов выбора оперативных решений на основе вероятностного прогнозирования будущих событий.

Особо значимо применение метода моделирования поединка при изучении механизмов выбора решений оператором: создается возможность формализовать правила выбора решений, которыми пользуется оператор в своей деятельности, и затем с определенной достоверностью предсказать его поведение в различных по своим вероятностным характеристикам ситуациях.

Яркие примеры противоборства двоих дает спорт. Здесь налицо такие факторы, как конфликтность ситуации, экстремальные условия соревнования, лимит времени, необходимость предугадывать характер действий противника и др. Сложность обстановки в спортивном поединке определяется и тем, что она всегда является функцией действий двух противоборствующих сторон, имеющих строго противоположные интересы. В других видах деятельности поединок может выступать также в форме «игры человека с природой».

Значение метода моделирования поединка обусловливается и тем, что такой метод способствует решению многих вопросов теоретического и практического характера. Например, интересно проследить за тем, как при необходимости реагировать на сигналы с разной вероятностью появления у человека формируется установка на приоритет определенных действий, как происходит становление системы ожидания [6].

Индивидуальные различия поведения в условиях стохастически изменяющейся среды относятся к сфере исследования дифференциальной психологии. Действительно, поскольку индивидуальные динамические характеристики протекания психических процессов могут модулировать их собственные содержательные стороны [3], неизбежно должна существовать некоторая связь между теми индивидуальными особенностями, которые определяются динамикой нервных процессов, и теми, от которых зависит склонность человека к выбору определенных «внутренних моделей» поведения в конфликтных ситуациях.

Для экспериментального изучения индивидуальных характеристик поведения необходимо в большинстве случаев иметь «идеальный» пример поединка, в котором бы исключалось влияние сбивающих факторов психологического свойства (установка, способ ожидания; индивидуальная скорость приема и переработки информации; приоритет, субъективно отдаваемый одному из сигналов и т. д.). В этом случае можно строже зафиксировать все переходы взаимодействующих сторон из одного состояния в другое, зависящие только от вероятностных характеристик игровых ситуаций. Сравнение элементов конкретного поведения испытуемых с такой «идеальной» моделью позволит выявить индивидуальные отклонения, определяющие склонность человека к выбору того или иного оперативного решения в поединке.

В настоящей работе была предпринята попытка исследовать выбор решений в поединке моделированием игры двух случайных конечных автоматов [2]. В качестве объекта для моделирования был выбран поединок фехтовальщиков. На первых порах мы ограничились только бинарными ситуациями, причем взяли частный случай (но наиболее распространенный в единоборствах), когда один соперник оказывается в роли преследующего, а другой — в роли преследуемого. Один из спортсменов стремится ложными действиями создать такую ситуацию, чтобы другой в ходе преследования не сумел правильно определить момент и характер атаки противника и выбрать адекватные обстановке контратакующие действия.

В нашем эксперименте по условию один фехтовальщик («B») повторяет ходы другого («A») с целью преследования и создания ситуации, которая позволяет на начало атаки противника своевременно и в «открытый сектор» выполнять контратаку. Следовательно, дважды имеется выбор из двух вариантов: сначала преследующий должен правильно определить, на каком ходу последует атака противника, а затем — в какой именно сектор эта атака будет направлена. Условно были ограничены два поражаемых сектора, наиболее распространенные объекты атаки в современном фехтовании; при всех ограничениях можно считать, что исследовались ситуации, достаточно типичные для фехтовального поединка, и выбор решений в них достаточно глубоко характеризует индивидуальные особенности соперников.

Непосредственному моделированию игры двух случайных автоматов предшествовало установление некоторых вероятностных характеристик тех ситуаций, в которых оказываются фехтовальщики — участники изучаемого нами поединка. Исходные данные получены на основании специально организованных наблюдений, записи соревновательных и тренировочных боев, бесед с опытными мастерами.

1. Наиболее вероятное число ходов, завершающих всю комбинацию,— от двух до семи. Это позволяет [5] спортсменам удерживать в оперативной памяти все элементы данной комбинации и оценивать ее как целостную структуру;

2. Наиболее вероятны (P=0,25) комбинации в три и четыре хода;

3. Соперники могли находиться в одной из двух позиций (четвертой или шестой, по терминологии фехтования), но каждая смена позиций могла выполняться на месте, с движением вперед или назад. Поэтому имелось 6 исходных и текущих позиций; соответственно были даны вероятностные характеристики для исходных состояний и для переходов из одного состояния в другое во время позиционной борьбы (преследования) фехтовальщиков.

4. Определены наиболее вероятные направления атаки одним из соперников, в зависимости от количества и характера предшествующих ей ходов.

МОДЕЛЬ ПОЕДИНКА

Рассмотрим два конечных автомата A и B, где A — преследуемый автомат, а B — преследующий. Изменение состояний автоматов происходит в моменты $t=1, 2 \ldots T$ — автоматного времени, при этом переход преследующего автомата B в какое-либо состояние в данный момент автоматного времени определенным образом зависит от изменения состояния преследуемого автомата A в этот же момент времени. Таким образом, в каждый момент времени сначала осуществляется изменение состояния автомата A, а затем — автомата B.

Длительность игры автоматов, т. е. величина T, является случайной и определяется вероятностями $P(T_{\min})$, $P(T_{\min}+1)$,.. $P(T_{\max})$. В соответствии с этими вероятностями значение числа шагов игры T определяется автоматом A до начала каждой игры и является неизвестным для автомата B.

Полагаем, что в процессе игры на основе конкретного развития поединка автомат B получает некоторую информацию о числе шагов, по которой принимает рашение о предполагаемом числе шагов игры. В поединке фехтовальщиков этому соответствует ожидание спортсменом B начала атаки противника в момент, определяемый опытным путем как «наиболее вероятный».

Решение о числе шагов принимается автоматом B по следующей схеме. Каждому числу шагов $T=T_{\min}, T_{\min+1}, \ldots, T_{\max}$ сопоставлены три вероятности полной группы событий — вероятность правильного определения числа шагов $P^{=}(T)$, вероятность занижения числа шагов $P^{-}(T)$ и вероятность завышения числа шагов $P^{+}(T)$. Моделирование этих событий производится по схеме случайного выбора с использованием тех вероятностей $P^{=}(T)$, $P^{-}(T)$ и $P^{+}(T)$, которые соответствуют числу шагов T, выбранному автоматом A в данной игре.

Перейдем к описанию возможных состояний автоматов и структуры поединка.

Автоматы A и B являются конечными [2] и имеют одинаковое количество внутренних состояний $a_1 \ldots, a_n$ и $b_1, \ldots b_n$ соответственно. Два состояния автоматов с одинаковыми номерами (индексами) будем называть эквивалентными, повторяющими друг друга. Поединок длительностью T шагов делится на два этапа: первый состоит из $T-1$ шагов $t=1, 2, \ldots T-1$, называемых пассивными, а второй — из одного активного шага $t=T$. В данном случае моделируются ложные действия спортсмена A, повторяемые спортсменом B при преследовании, и начало атаки, на которую B должен ответить своевременной контратакой.

Множество внутренних состояний автомата остается неизменным на протяжении всей игры, а правила функционирования для двух этапов различны. В течение пассивных шагов автомат B повторяет действия автомата A и переходит в каждый момент времени в состояние, эквивалентное состоянию автомата A. Поэтому для описания игры на первых $t=1, \ldots, T-1$ шагах достаточно описать состояния и функционирование автомата A. Он на первых $t=1, \ldots, T-1$ шагах является конечным случайным автоматом с n-внутренними состояниями $a_1, \ldots, a_n$. Внутреннее состояние автомата на первом шаге определяется вероятностями $P(a_1), \ldots, P(a_n)$, а переход из состояния a_i в состояние a_j на каждом последующем шаге, включая момент $t=T-1$, определяется матрицей P переходных вероятностей $P(a_i, a_j)$, где $i, j=1, \ldots, n$. Автомат A на первом этапе игры может быть описан при помощи конечных однородных дискретных цепей Маркова и, очевидно, полностью определяется некоторым полным ориентированным графом с петлями [2], [4].

Рассмотрим второй этап игры, на котором непосредственно определяется автомат-победитель. Вероятности переходов автомата A из состояния, в котором находится в момент $t=T-1$, в одно из состояний $a_1, \ldots, a_n$, в котором он окажется в последний момент игры $t=T$, определяется соответствующими вероятностями, зависящими от последовательности состояний, в которых автомат A находился в предыдущих шагах, включая $t=T-1$. Таким путем учитывается структура поведения автомата на первом этапе игры, в определенной степени влияющая на ее исход.

Выбранное автоматом A состояние на последнем шаге поступает на вход автомата B вместе с признаком окончания игры. В фехтовальном поединке последний шаг спортсмена A («вызов») почти обязательно означает для спортсмена B, что преследование с этого момента неизбежно должно привести к собственно атаке. В нашей модели в зависимости от того, правильно ли определил автомат B число шагов игры, он совершает последний шаг в соответствии с вероятностями $P^{=}(в_1), \ldots, P^{=}(в_n)$, если T выбрано правильно, или $P^{-}(в_1), \ldots, P^{-}(в_n)$, если T занижено, или же $P^{+}(в_1), \ldots, P(в_n)$, если T завышено. Если после шага $t=T$ номера состояний автоматов совпадают, то полагаем, что выиграл («угадал») автомат B, в противном случае он проигрывает. Иными словами, в фехтовальном поединке спортсмену, верно определившему момент начала и характер атаки противника, не представляет большого труда выбрать эффективные контрмеры. Если же прогноз был неправильным, возможность выигрыша данной схватки резко уменьшается.

ПРИМЕР МОДЕЛИ ПОЕДИНКА

Рассмотрим конкретный пример игры автоматов A и B. Минимальное число шагов игры $T_{min}=2$, максимальное $T_{max}=7$. Распределение вероятностей числа шагов приведено в табл. 1.

Таблица 1

T	2	3	4	5	6	7
$P(T)$	0,2	0,25	0,25	0,15	0,1	0,05

Автомат B принимает решение о числе шагов в игре, т. е. делает попытку угадать решение автомата A, на основе вероятностей, приведенных в табл. 2.

Автомату B известно, что $T_{min}=2$, поэтому $P^{-}(2)=0$; ему неизвестно, что $T_{max}=7$, поэтому $P^{+}(T)\neq 0$. При малых T более вероятна ошибка автомата B в сторону завышения числа шагов, а при больших T — в сторону занижения, поэтому вероятности $P^{-}(T)$ с увеличением T возрастают, а вероятности $P^{+}(T)$ с увеличением T убывают (строго говоря, не возрастают). Автомат B представляет характер изменения вероятностей $P(T)$, $T=2, \ldots, 7$, поэтому особенности изменения $P^{=}(T)$ и $P(T)$ в какой-то мере повторяют друг друга. Несомненно, что опытные спортсмены определяют значения вероятности выбора решений соперником, близкие к действительным.

Таблица 2

$P(T)$	Число шагов T, выбранное автоматом A					
	2	3	4	5	6	7
$P^{=}(T)$	0,75	0,8	0,8	0,65	0,4	0,2
$P^{-}(T)$	0	0,05	0,1	0,25	0,55	0,75
$P^{+}(T)$	0,25	0,15	0,1	0,1	0,05	0,05

Автоматы имеют по 6 внутренних состояний a_i, $в_i$; $i=1, \ldots, 6$. Состояниям 1, 3, 5 соответствует четвертая фехтовальная позиция, выполненная на месте, с шагом вперед или с шагом назад, состояниями 2, 4, 6— те же вариации шестой позиции (обе позиции наиболее распространены). Распределение вероятностей состояний автомата A на первом шаге игры дано в табл. 3.

Матрицы P переходных вероятностей приведены в табл. 4. Элемент, лежащий на пересечении i-ой строки и j-го столбца, есть вероятность $P(a_i, a_j)$ перехода из a_i в a_j за один шаг на первом этапе игры. Например, $P(a_2, a_5)=0{,}3$.

Симметричный характер таблицы (совпадают строки 1, 3, 5 и 2, 4, 6, а также столбцы 3, 5 и 4, 6) объясняется тем, что эти вероятности связаны только с двумя фехтовальными по-

Таблица 3

$P(a_1)$	$P(a_2)$	$P(a_3)$	$P(a_4)$	$P(a_5)$	$P(a_6)$
0,10	0,30	0,05	0,25	0,05	0,25

зициями, противоположными по принципу зеркальности друг другу (в таблице совпадающие строки).

Рассмотрим вероятности появления состояний автомата A в последний момент времени игры $t=T_{max}$. Для $T_{max}=2, 3, 4$ учитываются все предыдущие состояния автомата A, а для $T_{max}=5, 6, 7$ учитываются три последних его состояния, поскольку в фехтовальном поединке в многоходовой комбинации решающим для выбора очередного действия являются главным образом последние 2—3 хода. На последнем шаге состояния a_1, a_3, a_5 и состояния a_2, a_4, a_6 не различаются между собой (первые соответствуют различным вариантам 4-й позиции, а вторые — 6-й). Для сокращения записи введем обозначения:

$$a'=a_1 \vee a_3 \vee a_5,$$

$$a''=a_2 \vee a_4 \vee a_6.$$

Состояния автомата B, эквивалентные состояниям a' и a'' автомата A обозначим $в'$ и $в''$.

Для автомата A вероятности $P(a')$, $P(a'')$ появления состояний a' и a'' в последний момент игры, в зависимости от последовательности предыдущих состояний, представлены в табл. 5, в которой так же, как и в табл. 4, совмещены совпадающие столбцы.

Таблица 4

a_i	a_j					
	1	2	3	4	5	6
1, 3, 5	0,1	0,2	0,05	0,3	0,05	0,3
2, 4, 6	0,2	0,1	0,3	0,05	0,3	0,05

Рассмотрим функционирование автомата B на последнем шаге. Вероятности $P(в')$ $P(в'')$ зависят от того, верно ли автомат B определил число шагов игры T. Если число шагов определено верно, то имеем вероятности $P^{=}(в')$, $P^{=}(в'')$ появления состояний $в'$ и $в''$, для случая заниженного числа шагов — вероятности $P^{-}(в')$, $P^{-}(в'')$ и для случая завышенного числа шагов — вероятности $P^{+}(в')$, $P^{+}(в'')$ соответственно. Таким образом, вероятности появления состояний автомата B зависят от того, какое из двух состояний автомата A — более или менее вероятное — реализовано на последнем шаге, а также — от правильности прогнозирования автомата B общего числа шагов игры. Если реализовано более вероятное состояние автомата A, то вероятность наступления эквивалентного состояния автомата B равна 0,9, 0,5 и 0,1 для случаев правильного прогноза, занижения и завышения числа шагов соответственно. Аналогичные вероятности для случая реализации менее вероятного состояния автомата A есть 0,1, 0,5 и 0,9.

Если в результате последнего шага состояния автоматов A и B оказываются эквивалентными, то выигрывает автомат B, в противном случае он проигрывает.

Таблица 5

T_{max}	Последовательность предыдущих состояний	$P(a')$	$P(a'')$
2	a', a''	0,7	0,3
	$a'—a'$, $a'—a''$	0,3	0,7
3	$a''—a'$, $a''—a''$	0,7	0,3
	$a'—a'$, $a'—a''—a'$	0,3	0,7
4, 5	$a'—a'—a''$, $a'—a''—a''$	0,7	0,3
6, 7	$a''—a'—a'$, $a''—a''—a'$	0,3	0,7
	$a''—a'—a''$, $a''—a''—a''$	0.7	0,3

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ПОЕДИНКА

Проанализируем модель поединка и получим основные ее характеристики. Известно [2], что переходные вероятности за t шагов определяются соответствующими элементами матрицы P^t. На первом этапе игры автомат A имеет последовательность не более шести состояний, поэтому достаточно привести матрицы P^2, P^3, P^4, P^5. Они даны в табл. 6 (строки № 1, 3, 5 и № 2, 4, 6 совмещены, так как они совпадают).

Таблица 6

P^t	a_i	a_j					
		1	2	3	4	5	6
P^2	1, 3, 5	0,18	0,12	0,25	0,10	0,25	0,10
	2, 4, 6	0,12	0,18	0,10	0,25	0,10	0,25
P^3	1, 3, 5	0,132	0,168	0,130	0,220	0,130	0,220
	2, 4, 6	0,168	0,132	0,220	0,130	0,220	0,130
P^4	1, 3, 5	0,161	0,139	0,202	0,148	0,202	0,148
	2, 4, 6	0,139	0,161	0,148	0,202	0,148	0,202
P^5	1, 3, 5	0,1435	0,1565	0,1588	0,1912	0,1588	0,1912
	2, 4, 6	0,1565	0,1435	0,1912	0,1588	0,1912	0,1588

Учитывая распределение $P(a_1) \ldots P(a_n)$ начальных состояний a (см. табл. 3), нетрудно получить вероятности $P_t(a_i)$ появления каждого состояния автомата A в любой момент времени t по формуле

$$P_t(a_i) = \sum_{j=1}^{n} P(a_j)[P(a_j, a_i)]^{t-1}$$

где $t=2, \ldots, T-1$, $i=1, \ldots, n$. Вероятности появления событий $a_1 \ldots, a_n$ в моменты времени $t=1, \ldots, 7$ представлены в табл. 7.

Таблица 7

t	$P_t(a_i)$					
	$P_t(a_1)$	$P_t(a_2)$	$P_t(a_3)$	$P_t(a_4)$	$P_t(a_5)$	$P_t(a_6)$
1	0,10	0,30	0,05	0,25	0,05	0,25
2	0,18	0,12	0,25	0,10	0,25	0,10
3	0,13	0,17	0,13	0,22	0,13	0,22
4	0,16	0,14	0,20	0,15	0,20	0,15
5	0,14	0,16	0,16	0,19	0,16	0,19
6	0,15	0,14	0,18	0,16	0,18	0,16
7	0,15	0,15	0,17	0,18	0,17	0,18

Во всех случаях $P(a')=0{,}7$ $P(a'')=0{,}3$ или наоборот $P(a')=0{,}3$ $P(a'')=0{,}7$. Получаем вероятности выигрыша автомата B при условии верного прогноза, занижения или завышения числа шагов игры:

$$P^{=}(B)=0{,}7\cdot0{,}9+0{,}3\cdot0{,}1=0{,}66$$
$$P^{-}(B)=0{,}7\cdot0{,}5+0{,}3\cdot0{,}5=0{,}5$$
$$P^{+}(B)=0{,}7\cdot0{,}1+0{,}3\cdot0{,}9=0{,}34$$

Найдем вероятности: $P^{=}$ — правильного определения числа шагов автоматом B, P^{-} — занижения числа шагов, P^{+} — завышения:

$$P^{=} = \sum_{T=2}^{7} P(T)\cdot P^{=}(T) \approx 0{,}70$$

$$P^{-} = \sum_{T=2}^{7} P(T)\cdot P^{-}(T) \approx 0{,}17$$

$$P^{+} = \sum_{T=2}^{7} P(T) \cdot P^{+}(T) \approx 0,13$$

Отсюда вероятность выигрыша автомата B поединка в целом

$$P_B = P^{=}(B) \cdot P^{=} + P^{-}(B) \cdot P^{-} + P^{+}(B) \cdot P^{+} \approx 0,59$$

Итак, окончательно $P_B \approx 0,59$, $P_A \approx 0,41$.

Наблюдения и запись фехтовальных поединков показывают, что действительно при преследовании, когда у одного из спортсменов формируется установка на ожидание только начала атаки соперника, вероятность его выигрыша в контратаке несколько бо́льшая, чем 0,5. Однако во всем многообразии ситуаций спортивного поединка далеко не всегда удается навязать сопернику свою волю и поставить себя в относительно более выгодное положение преследователя.

Для исследования динамики поведения автоматов было выполнено моделирование поединка. Моделирование случайных событий осуществлялось в соответствии с приведенными выше вероятностями с помощью таблицы равномерно распределенных случайных чисел [1]. Случайная выборка результатов моделирования приведена в табл. 8.

Таблица 8

№№ поединков	Число шагов, выбранное автоматом A	Решение автомата В о числе шагов («=» — верно, «+» — завышено, «—» — занижено)	Последовательность состояний автомата A на предыдущих этапах	Более вероятное состояние A на последнем шаге	Реализовано	Реализованное состояние B на последнем шаге	Победитель
1	2	+	a_2	а′	а′	в″	A
2	4	+	a_2—a_5—a_4	а′	а″	в″	B
3	5	=	a_6—a_6—a_5—a_6	а′	а″	в′	A
4	6	=	a_6—a_3—a_2—a_4—a_4	а′	а′	в′	B
5	3	=	a_1—a_1	а″	а″	в″	B
6	2	+	a_5	а′	а′	в′	B
7	4	=	a_2—a_3—a_6	а′	а′	в′	B
8	2	=	a_6	а′	а″	в′	A

Проведенное многократно моделирование поединка двух случайных автоматов делает возможным получение эталонных вероятностных характеристик выбора того или иного решения в ситуации преследования, вне зависимости от индивидуальных, сугубо «человеческих» факторов. Дальнейший эксперимент с записью самоотчетов, времени и способа реагирования фехтовальщиками в условиях взаимодействия с противником позволит выделить на фоне эталонных данных индивидуальные и групповые вариации в способе ожидания и выборе оперативных решений. При этом оценка особенностей вероятностного прогнозирования человеком может стать наиболее объективной и информативной.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М., Изд-во «Наука», 1965.
2. Глушков В. М. Введение в кибернетику. Киев, Изд-во АН УССР, 1964.
3. Небылицын В. Д. Основные свойства нервной системы человека. М., Изд-во «Просвещение», 1966.
4. Оре О. Теория графов. М., Изд-во «Наука», 1968.
5. Панов Д. Ю., Зинченко В. П. Построение систем управления и проблемы инженерной психологии. Сб. «Инженерная психология», М., Изд-во «Прогресс», 1964.
6. Прангишвили А. С. Проблемы установки на современном этапе ее развития. «Материалы III Всесоюзного съезда Общества психологов СССР». Киев, 1968.