

УДК 004.81



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОГНИТИВНОГО СТИЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР НА ОСНОВЕ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ ВТОРОГО ТИПА

Т.Г. Петренко<sup>1</sup>, О.С. Тимчук<sup>2</sup><sup>1</sup>ДонНУ, Донецк, Украина, timoti@dongu.donetsk.ua<sup>2</sup>ДонНУ, Донецк, Украина, o.s.timchuk@gmail.com

Предлагается модель определения когнитивного стиля игрока компьютерной игры “шашки” (Cognitive Style Model, CSM) с помощью дискретной интервальной нечеткой модели второго типа. Определение когнитивного стиля основано на стилевой системе Д.Уорделла и Дж.Ройса, которая описывает связи между стилями. Использование выявленного когнитивного стиля позволяет формировать действия компьютера при игре подобно человеку.

КОГНИТИВНЫЙ СТИЛЬ, ИНТЕРВАЛЬНАЯ НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ВТОРОГО ТИПА, ПРОТОТИП, СТРАТЕГИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИГРЫ

### Введение

На современном этапе усилия разработчиков компьютерных игр нацелены на формирование сложного поведения компьютерных персонажей. Пользователи компьютерных игр хотят, чтобы компьютерные персонажи действовали подобно поведению человека. Однако описание поведения игрока-человека без использования методов искусственного интеллекта сводится к представлению поведения довольно примитивными схемами.

В основу существующих моделей поведения компьютерных персонажей положены следующие алгоритмы искусственного интеллекта: генетические алгоритмы, обучающиеся системы классификаторов, конечные автоматы, обучение с подкреплением, методы Монте-Карло, нейронные сети [1-4]. Все перечисленные методы позволяют наделять компьютерные персонажи развивающимся интеллектом. Благодаря дополнительным знаниям компьютерные персонажи могут действовать на уровне игрока-человека. Для адаптации компьютерных персонажей к изменению состояния игрока-человека требуется предоставление компьютерному персонажу знаний о степени освоения игрового процесса пользователем. Данные знания характеризуются нечеткостью, которую перечисленные выше методы отображают недостаточно. В настоящей работе впервые предлагается формировать знания компьютерного персонажа с помощью интервальной нечеткой модели второго типа [5]. Построение модели определения когнитивного стиля в работе основано на стилевой системе Д.Уорделла и Дж.Ройса [6], которая описывает связи между стилями. Традиционно когнитивные стили рассматриваются как пара противоположных полюсов. В процессе обучения стиль игрока-человека может изменяться и переходить из одного полюса в другой или оставаться нейтральным. Определение когнитивного стиля игрока в период смены полюса является сложной задачей, так как нет четких границ, разделяющих полюса и выделяющих нейтральную зону. Поэтому для решения

данной задачи предлагается интервальная нечеткая модель второго типа, которая в отличие от нечеткой модели первого типа, позволяет учесть неопределенность функций принадлежности.

### 1. Постановка задачи

Построить и реализовать программно модель определения когнитивного стиля игрока компьютерной игры «шашки» (Cognitive Style Model, CSM). В работе реализованы классические русские шашки: доска 8x8 клеток, у игрока - 12 шашек в три ряда, цель игры – заблокировать или убрать с доски все шашки противника. CSM предлагается использовать для придания компьютерному персонажу поведения, подобного поведению игрока-человека.

### 2. Решение задачи

Для определения когнитивного стиля в CSM выполнен анализ действий игрока-человека на игровом поле игры “шашки”. Игрок во время игрового процесса обучается правилам игры, применяет различные стратегии и выбирает разные прототипы игры. По мере обучения игрок-человек более осознанно меняет стратегии, при этом уменьшается время реакции игрока-человека и количество невыгодных ходов. Программно анализируя данную информацию, можно выделить нечеткие когнитивные характеристики игрока, на основе которых определяется его когнитивный стиль. Исходными данными для анализа являются: текущая ситуация на игровом поле, текущий прототип игры, стратегия и время реакции игрока-человека.

Прототип в CSM рассматривается как абстрактный образ, который воплощает множество сходных форм одного и того же паттерна и фиксирует его типичные свойства. В рассматриваемой предметной области были выделены следующие классы прототипов: «обязательный бой» (P1), «ход без потери» (P2), «потеря шашки» (P3). В каждом классе прототипа игрок может применять некоторые стратегии решения задачи, а именно: «захват шашки соперника» (A), «отдача своей шашки в обмен на две и более шашек соперника» (B), «за-

щита зоны превращения в дамки» (С), «стратегия примыкания к стенкам» (D), «продвижение к линии превращения в дамки» (E), «продвижение по туннелю» (F), «обмен шашками (стратегия навязывания)» (G), «защита своей шашки» (H). Применение той или иной стратегии для достижения цели в каждом классе прототипов характеризуется длительностью хранения информации в оперативной памяти игрока и сохранением материала в долговременной памяти игрока.

Программная реализация модели CSM позволяет компьютерному персонажу получить знания о когнитивном стиле игрока-человека. Исходя из полученной информации, компьютерный персонаж формирует свою стратегию игры. Задача формирования стратегии компьютерного персонажа может решаться разными способами. В работе предлагается выявить стиль игрока-человека, а стиль компьютерного персонажа строить на основе противоположного стиля [6]. Для этого программно собирается статистика по каждому этапу игрового процесса пользователя и фиксируется информация о характеристиках когнитивного стиля игрока-человека.

Модель программы (рис. 1) состоит из: модели отображения поля игры «шашки», модели анализа действия пользователя и модели CSM.

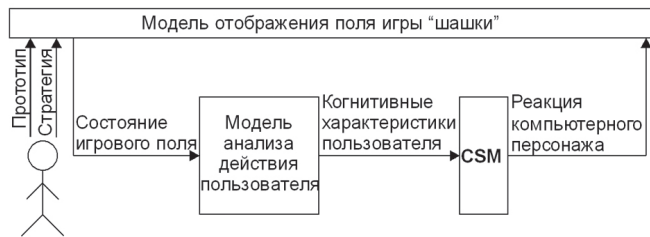


Рис. 1. Модель программы

CSM представлена в виде иерархической схемы нечеткого вывода [7], так как когнитивный стиль, согласно системе Д.Уорделла и Дж.Ройса, формируется как многомерная зависимость (рис. 2). В CSM выполняется нечеткий вывод по алгоритму Mamdani для промежуточных переменных с последующей передачей полученных параметров в нечеткие системы следующего уровня иерархии.

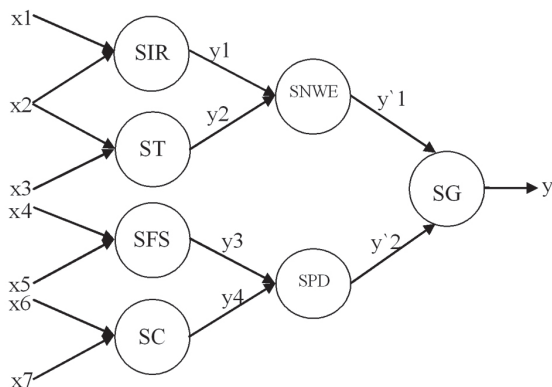


Рис. 2. Иерархическая схема нечеткого вывода

CSM реализует вычисление общего когнитивного стиля (SG) на основе вычисления стилей:

1. SIR – импульсивность – рефлексивность;
2. ST – толерантность к нереалистическому опыту;
3. SFS – фокусирующий - сканирующий контроль;
4. SC – узость - широта категории;
5. SNWE – узкий – широкий диапазон эквивалентности;
6. SPD – полезависимость – полнезависимость.

На первом уровне иерархии модели CSM определяются когнитивные стили, представляющие устойчивые черты, которые оказывают влияние на способ организации когнитивных и аффективных процессов. Входные нечеткие переменные  $x_1, \dots, x_7$  описывают характеристики когнитивных стилей:  $x_1$  – время реакции,  $x_2$  – неудачные решения,  $x_3$  – активный вид памяти,  $x_4$  – широта охвата игрового поля,  $x_5$  – выгодность действия,  $x_6$  – уровень категоризации,  $x_7$  – сходство выбираемых ситуаций.

На втором уровне иерархии модели CSM определяются когнитивно-аффективные стили игрока-человека. Входные нечеткие переменные  $y_1, \dots, y_4$  характеризуют аффективные стили пользователя:  $y_1$  – генерация гипотез,  $y_2$  – реакция на неопределенность,  $y_3$  – распределение внимания,  $y_4$  – ограничение категорий.

На выходе модели CSM определяется общий когнитивный стиль игрока-человека, который формирует стиль мышления. Входные нечеткие переменные  $y'1, y'2$  характеризуют когнитивно – аффективные стили пользователя:  $y'1$  – интенсивность внимания,  $y'2$  – селективность внимания.

В каждом из перечисленных уровней модели CSM значение выходной переменной формируется с помощью интервальной нечеткой логической системы второго типа, которая содержит нечеткую базу правил (набор правил ЕСЛИ - ТО), фазсификатор, механизм нечеткого логического вывода и блок понижения типа [5].

Фазсификация осуществляется с помощью интервальных дискретных множеств второго типа  $\tilde{A}$ , которые определены на универсуме  $U$  в виде [5]:

$$\tilde{A} = f_{\tilde{A}}(u_1)/u_1 + f_{\tilde{A}}(u_2)/u_2 + \dots + f_{\tilde{A}}(u_n)/u_n,$$

где  $f_{\tilde{A}}(u) = \underline{\mu}_{\tilde{A}}(u), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(u)$ ;  $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(u), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(u)$  – “нижняя” и “верхняя” границы функции принадлежности второго типа, являющиеся функциями принадлежности первого типа и характеризующими “отпечаток неопределенности”;  $f_{\tilde{A}}(u): U \rightarrow [0,1], f_{\tilde{A}}(u_r) (r = \overline{1, n})$  – степень принадлежности элемента  $u_r$  “нижней” и “верхней” функциям принадлежности нечеткого множества второго типа.

Рассмотрим, на примере, блок вычисления стиля “SIR” модели CSM, который описывается вход-

ными лингвистическими переменными  $\langle x_1, T_1, U_1 \rangle$ ,  $\langle x_2, T_2, U_2 \rangle$  и выходным –  $\langle y_1, T_3, U_3 \rangle$ .

Лингвистическая переменная  $x_1$  – “время реакции” (рис. 3а) зависит от активного вида памяти пользователя. Согласно трехкомпонентной модели памяти выделяют следующие виды памяти: кратковременная, рабочая, долговременная. Так как процессы памяти подчиняются нормальному закону распределения [8], то первичные функции принадлежности термов лингвистической переменной  $x_1$  формируются в CSM с использованием гауссовского распределения. Лингвистическая переменная  $x_1$  состоит из трех термов:

$$T_1 = \{ \text{"быстрое"}, \text{"среднее"}, \text{"длительное"} \}$$

$$U_1 = [0, 1]$$

Лингвистическая переменная  $x_2$  – “неудачные решения” (рис. 3б) характеризует количество допущенных ошибок при решении задачи. Под ошибкой в работе понимается нерациональный выбор прототипа или неверно применяемая стратегия решения задачи. Величина  $x_2$  определяется на основе собранной статистики по конкретному пользователю. Для определения значения термов лингвистической переменной  $x_2$  используются первичные трапециевидные функции принадлежности. Лингвистическая переменная  $x_2$  состоит из трех термов:

$$T_2 = \{ \text{"малое"}, \text{"среднее"}, \text{"большое"} \}$$

$$U_2 = [0, 1]$$

Рассмотрим лингвистическую переменную  $y_1$  – «генерация гипотез». Любой когнитивный стиль представляет собой биполярное измерение. Отнесение испытуемого к одному из двух полюсов того или иного когнитивного стиля осуществляется на основе такого критерия, как медиана. Традиционно все показатели слева  $[0; 0,5)$  от медианы идентифицируются как один полюс данного когнитивного стиля, справа  $(0,5; 1]$  – как другой его полюс. Кроме того, у некоторых пользователей может наблюдаться нейтральность  $[0,5]$ , то есть когнитивный стиль не принадлежит ни одному из полюсов. Лингвистическая переменная  $y_1$  состоит из трех термов, характеризующих стиль генерации гипотез при решении задачи:

$$T_3 = \{ \text{"импульсивность"}, \text{"нейтральность"}, \text{"рефлексивность"} \}$$

$$U_3 = [0, 1]$$

Первичные функции принадлежности термов “импульсивность” и “рефлексивность” имеют вид сигмоидной кривой, так как значения данных термов практически на всей области их определения равны единице и плавно стремятся к нулю в области медианы. Функция принадлежности термина “нейтральность” формируется с использованием гауссовского распределения, так как нейтраль-

ность стиля может быть явно не выражена и с равной уверенностью отклоняться к одному из полюсов (рис. 3в).

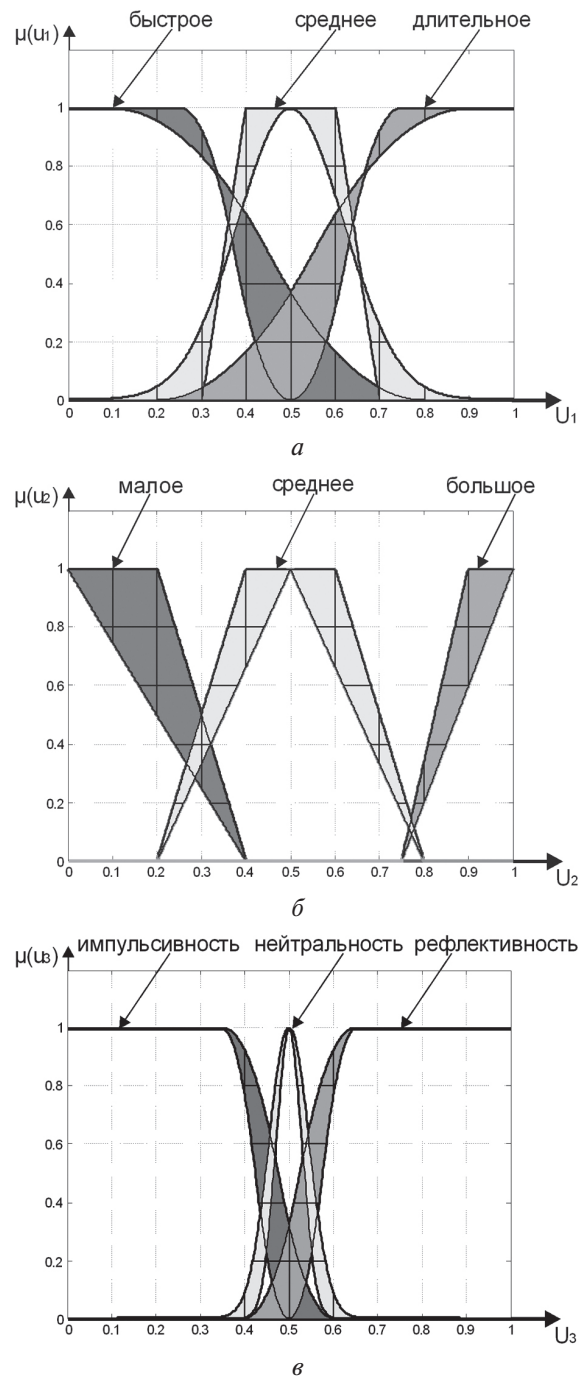


Рис. 3. Функции принадлежности лингвистических переменных подсистемы “SIR”: а – лингвистическая переменная  $x_1$ , б – лингвистическая переменная  $x_2$ , в – лингвистическая переменная  $x_3$

Использование в работе нечетких множеств второго типа позволяет учесть дополнительные экспертные знания о нечетких когнитивных характеристиках игрока-человека. Рассмотрим, например, терм «импульсивность» лингвистической переменной  $y_1$ . Традиционно испытуемый относится к данному стилю при  $U_3 \in [0; 0,5)$ , но стили взаимодействуют между собой и в некоторых случаях мо-

гут переходить из одного полюса в другой. В таком случае в зоне «нейтральность» наблюдается развитие функции принадлежности нечеткого множества первого типа «импульсивность». Тогда определенному значению  $U_3$  уже не будет соответствовать четкое значение функции принадлежности нечеткого множества первого типа «импульсивность». Для решения этой проблемы при описании когнитивных характеристик игрока-человека в работе используются нечеткие множества второго типа.

Нечеткая база знаний подсистемы “SIR” содержит 9 правил следующей формы

$$R_i: \text{ЕСЛИ } x_1 = \tilde{F}_1^i \text{ и } x_2 = \tilde{F}_2^i, \text{ то } y_1 = \tilde{G}^i, i = \overline{1,9}, \quad (1)$$

где  $\tilde{F}_1^i, \tilde{F}_2^i, \tilde{G}^i$  – интервальные нечеткие множества второго типа.

Правило (1) описывает отношения второго типа между входными пространствами  $x_1, x_2$  и выходным пространством  $y_1$ .

Рассмотрим подробнее базу правил для подсистемы “SIR”:

R1: Если  $x_1 =$  малое и  $x_2 =$  быстрое, то  $y_1 =$  импульсивность;

R2: Если  $x_1 =$  малое и  $x_2 =$  среднее, то  $y_1 =$  нейтральность;

R3: Если  $x_1 =$  малое и  $x_2 =$  длительное, то  $y_1 =$  рефлексивность;

R4: Если  $x_1 =$  среднее и  $x_2 =$  быстрое, то  $y_1 =$  импульсивность;

R5: Если  $x_1 =$  среднее и  $x_2 =$  среднее, то  $y_1 =$  нейтральность;

R6: Если  $x_1 =$  среднее и  $x_2 =$  длительное, то  $y_1 =$  рефлексивность;

R7: Если  $x_1 =$  большое и  $x_2 =$  быстрое, то  $y_1 =$  импульсивность;

R8: Если  $x_1 =$  большое и  $x_2 =$  среднее, то  $y_1 =$  нейтральность;

R9: Если  $x_1 =$  большое и  $x_2 =$  длительное, то  $y_1 =$  рефлексивность.

Формирование лингвистических переменных и базы правил для остальных уровней модели определения когнитивного стиля осуществляется аналогичным способом.

Дефазифицированное значение выходного значения уровней модели определяется методом центра тяжести.

### 3. Анализ результатов

В игре «шашки» стратегия компьютерного персонажа классически формируется с помощью метода полного перебора. Сложность игры корректируется коэффициентом глубины перебора (коэффициент выбирается пользователем или определяется автоматически). Формирование стратегии компьютерного персонажа на основе такого подхода приводит к однотипности игрового процесса (компьютерный персонаж всегда «сильнее» игрока-человека, ис-

ключается возможность выбора ошибочной стратегии компьютерным персонажем).

В работе для решения этого недостатка программно реализована игра «шашки» на основе построенной модели CSM. На каждом этапе игрового процесса прототип и стратегия для компьютерного персонажа формируется с учетом результата работы CSM. Таким образом, стратегия поведения компьютерного персонажа разработана с учетом когнитивного стиля игрока-человека, а стиль человека может изменяться во время игры при более глубоком освоении правил игры. Такой способ формирования стратегии компьютерного персонажа позволяет менять заранее спланированный сценарий игры в зависимости от индивидуальных возможностей игрока-человека.

Каждый этап игры программно фиксируется в файле протокола игрового процесса. Файл протокола имеет следующую структуру: стратегия, прототип, когнитивный стиль игрока-человека, прототип и стратегия компьютерного персонажа (модель CSM), прототип и стратегия компьютерного персонажа при использовании метода полного перебора.

На основании протокола игрового процесса (табл. 1) экспертом был выполнен анализ динамики настройки общего когнитивного стиля пользователя (рис. 4).

Таблица 1

Фрагмент протокола игрового процесса

Стратегия, прототип, стиль	Этапы игры		
	1	2	3
Стратегия игрока-человека	C	F	D
Прототип игрока-человека	P2	P1	P2
Когнитивный стиль игрока-человека	Эмпири- ческий	Эмпири- ческий	Рацио- нальный
Прототип и стратегия компьютерного персонажа	P2, D	P3, B	P2, C
Прототип и стратегия компьютерного персонажа (метод полного перебора)	P2, F	P3, B	P2, E

В работе для проведения анализа динамики изменения когнитивного стиля игрока-человека программно реализован прототип и стратегия игры компьютерного персонажа методом полного перебора. Такой подход всегда находит наиболее выгодное решение для компьютерного персонажа. Проведенный анализ действий компьютерного персонажа показал, что формирование прототипа и стратегии персонажа с помощью CSM влияет, в свою очередь, на неустойчивый когнитивный стиль игрока, что не характерно для метода полного перебора. Изменение когнитивного стиля игрока характеризуется повышением интереса к игре, потому что устраняется недостаток однотипности игры и у пользователя появляется ощущение игры с противником – человеком, а не с компьютерным персонажем.



Рис. 4. Динамика изменения общего когнитивного стиля

Из рис. 4 следует, что во время игры по модели CSM общий когнитивный стиль пользователя изменяется. При использовании метода полного перебора стиль изменяется незначительно и все время находится в области отрицательного полюса. Отсюда можно сделать вывод, что рассматриваемый стиль является неустойчивым (в процессе обучения может изменяться) и что компьютерный персонаж позволяет выполнить его настройку.

### Выводы

В работе с помощью дискретной интервальной нечеткой модели второго типа построена модель CSM для компьютерной игры «шашки». Данная модель предоставляет расширенные возможности для определения стиля игрока-человека по сравнению с моделью на основе нечетких множеств первого типа. Однако модель CSM требует более высоких вычислительных затрат.

Эффективность использования предложенного подхода подтверждена экспериментально при программном формировании прототипа и стратегии компьютерного персонажа в разработанной игре «шашки» на основе модели CSM. Результаты экспериментов показали, что наблюдается формирование признаков адаптивного обучения у компьютерного персонажа. При этом неустойчивый когнитивный стиль игрока-человека под воздействием изменяемого стиля компьютерного персонажа также меняется. Механизм взаимного влияния когнитивных стилей игроков позволяет строить «стиль мышления» компьютерного персонажа подобно стилю игрока-человека.

Разработанная модель CSM подтверждает гипотезу о возможности использования нечетких множеств второго типа в решении когнитивных задач, так как вторичные функции принадлежности позволяют выполнять тонкую настройку когнитивных показателей.

**Список литературы:** 1. Lucas S.M. Computational Intelligence and AI in Games: a New IEEE Transactions / S.M. Lucas // IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games (2009). — Режим доступа: <http://csee.essex.ac.uk/staff/lucas/tciaig/editorial.pdf>. — Дата доступа: 15.10.2010.

2. Miikkulainen R., Bryant B.D., Cornelius R., Karpov I.V. Computational Intelligence in Games / R. Miikkulainen, B.D. Bryant, R. Cornelius, I.V. Karpov // 2010 IEEE WORLD CONGRESS ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE. — Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.96.896&rep=rep1&type=pdf>. — Дата доступа: 15.10.2010. 3. Yannakakis G. An evolutionary approach for interactive computer games / G. Yannakakis, J. Levine, J. Hallam // In Evolutionary Computation, CEC2004. Congress on Evolutionary Computation. — 2004. — Vol. 1. — P. 986–993. 4. Шампандар, А.Дж. Искусственный интеллект в компьютерных играх: как обучить виртуальные персонажи реагировать на внешние воздействия [Текст] / А. Дж. Шампандар. — М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2007. — 768 с. 5. Mendel Jerry M. Standart Background Material About Interval Type – 2 Fuzzy Logic Systems / Jerry M. Mendel, H. Nagra, Robert I. John // Department of Electrical Engineering University of Southern California. — Режим доступа: [http://ieee-cis.org/\\_files/standards.t2.win.pdf](http://ieee-cis.org/_files/standards.t2.win.pdf). — Дата доступа: 15.10.2010. 6. Холодная, М.А. Когнитивные стили. О природе индивидуального ума [Текст] / М.А. Холодная. — СПб.: Питер, 2004. — 384 с. 7. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB [Текст] / С.Д. Штовба. — М.: Горячая линия - Телеком, 2007. — 288 с. 8. Солсо, Р. Когнитивная психология [Текст] / Р.Солсо. — СПб.: Питер, 2006. — 589 с.

Поступила в редколлегию 23.02.2011.

УДК 004.81

**Визначення когнітивного стилю користувачів комп'ютерних ігор на основі інтервальної нечіткої моделі другого типу** / Т.Г. Петренко, О.С. Тимчук // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2011. — № 1 (75). — С. 70–74.

У роботі пропонується модель визначення когнитивного стилю гравця комп'ютерної гри «шашки» (Cognitive Style Model, CSM) за допомогою дискретної інтервальної нечіткої моделі другого типу. Програмно реалізована гра «шашки» на основі CSM. На кожному етапі ігрового процесу прототип і стратегія для комп'ютерного персонажу формуються з урахуванням результату роботи CSM. Стратегія поведінки комп'ютерного персонажа розроблена з урахуванням когнитивного стилю гравця-людини. Такий спосіб формування стратегії комп'ютерного персонажа дозволяє змінювати заздалегідь спланований сценарій гри залежно від індивідуальних можливостей гравця-людини.

Табл. 1. Іл. 4. Бібліогр.: 8 найм.

UDC 004.81

**Determination of cognitive style of users of computer games based on interval type-2 fuzzy model** / T.G. Petrenko, O.S. Timchuk // Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2011. — № 1 (75). — P. 70–74.

The research work proposes a model to define cognitive style of player of computer game “Checkers” (Cognitive Style Model, CSM) with the help of discrete interval type-2 fuzzy model. Programmatically realizes game “Checkers” by CSM. The application at each stage of gameplay and strategy for a prototype computer character is formed taking into account the results of CSM. Behavioral strategy computer characters designed with the cognitive style of a human opponent. Such a method of forming a strategy of computer character allows you to change preplanned scenario of the game, depending on the individual capabilities of the player-man.

Tab. 1. Fig. 4. Ref.: 8 items.