

Метод редукции ошибок в экспертных системах интерактивных тренажеров

77-30569/350058

04, апрель 2012

Майков К. А., Жиряков С. М.

УДК 004.8

МГТУ им. Н.Э. Баумана

mstu@sevik.ru

Одним из ключевых этапов разработки экспертных систем (ЭС) является этап тестирования (оценки). На данном этапе реализованный прототип ЭС с первично наполненной базой знаний оценивается по ряду показателей качества на основе тестовых примеров и специально подготовленных входных данных [1]. При получении неудовлетворительных значений показателей качества решения экспертной системой, как правило, прибегают к переформулированию правил принятия решения или модификации определений понятий в базе знаний. При реализации ЭС для анализа действий оператора на интерактивном тренажере это приводит к искажению семантического содержания понятий и правил базы знаний, что отрицательно сказывается на адекватности экспертной системы при объяснении получаемых результатов и снижает ее полезность для оператора.

В данной работе рассматривается метод редукции ошибок нечеткого вывода продукционных ЭС, не требующий модификации начальной экспертной базы знаний.

В общем случае процесс тестирования ЭС и редукции ошибок показан на рис.1. В процессе тренировки, оператор оценивает текущее состояние $(\vec{P}_i, t_i)$ имитируемого объекта и принимает решение о воздействии $U(\vec{P}_i, t_i)$ на органы управления тренажера. В случае слабой формализации правил принятия управляющих воздействий и сложности анализа действий оператора ЭС формирует вариант «эталонного» решения $\tilde{U}(\vec{P}_i, t_i)$, который определяет основу для оценки действий оператора.

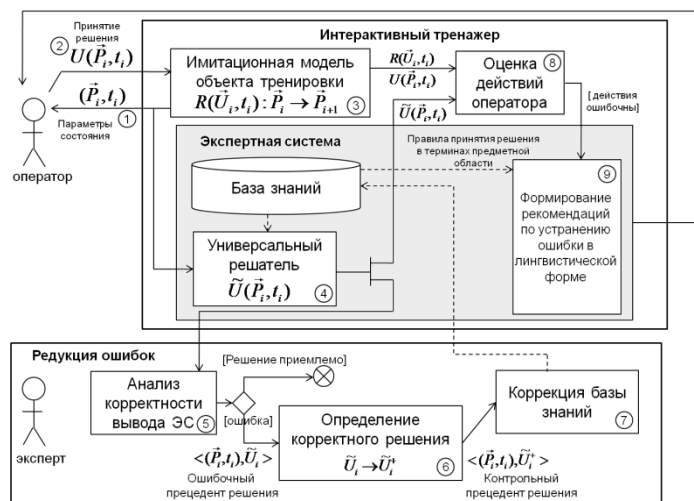


Рис. 1. Редукция ошибок в экспертных системах интерактивных тренажеров

В случае слабой формализации правил принятия решения алгоритм вывода ЭС может допускать неприемлемую погрешность решения в частных случаях исходных данных, то есть формировать ошибочные прецеденты решения $\langle (\bar{P}_i, t_i), \tilde{U} \rangle$. Для контроля эффективности коррекции базы знаний на основе набора ошибочных прецедентов решения формируется множество контрольных прецедентов $\langle (\bar{P}_i, t_i), \tilde{U}^+ \rangle$, где $\tilde{U}^+$ – решение, удовлетворяющее критериям качества. Необходимо скорректировать результаты нечеткого вывода таким образом, чтобы при исходных данных $(\bar{P}_i, t_i)$ отклонение от контрольного решения $\tilde{U}^+$ было минимально, т. е. $|F(\bar{P}_i, t_i) - \tilde{U}^+| \rightarrow \min$.

В качестве основы алгоритма нечеткого вывода целесообразно выбрать алгоритм Суджено, поскольку в этом случае поверхность отклика при нечетком выводе строится в виде линейной комбинации гиперплоскостей, образующихся на этапе логического вывода в соответствии с выражением

$$f(x_1, \dots, x_N) = k_0 + \sum_{i=1}^N k_i x_i, \quad (1)$$

что дает возможность дополнительного построения детализирующих гиперплоскостей, таких что

$$(\forall i)(f(x_1, \dots, x_N) + \Delta(x_1, \dots, x_N) = \tilde{U}^+_i). \quad (2)$$

Анализ работ [2], [3] показывает возможность представления функции многих переменных в виде линейной комбинации функций одного переменного. Тогда можно полагать, что при вычислении значения целевой функции каждая определяющая переменная осуществляет вклад в итоговое значение функции независимо от других переменных, т.е. результат нечеткого вывода может быть представлен в виде

$$F(x_1, \dots, x_N) = \lim_{L \rightarrow \infty} \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N \delta_{l,n}(x_n), \quad (3)$$

где l – порядок (уровень) приближения, $\delta_{l,n}(x_n)$ – вклад переменной x_n в значение F на l -ом уровне приближения. С точки зрения формулы (3) этап логического вывода Суджено обеспечивает приближение к функции $F(x_1, \dots, x_N)$ на первом и единственном уровне приближения при $\delta_{1,n}(x_n) = k_n x_n$ в окрестности действия продукционного правила. Для обеспечения сходимости (3) и получения приближения на уровнях $l \geq 2$ используем аналогию аппроксимации функции одной переменной с помощью базисных функций системы Фабера-Шаудера. Для проведения обобщения функций Фабера-Шаудера для случая функции многих переменных необходимо обеспечить разбиение $W_r \subseteq \Omega^0$ на зоны Ω_d^l , где l – уровень разбиения, d – индекс зоны на уровне l в соответствии с требованиями:

$$\begin{aligned} \Omega_k^l &= \bigcup_i \Omega_i^{l+1}, \\ \Omega_i^{l+1} \cap \Omega_j^{l+1} &= \emptyset, \text{ при } i \neq j; i, j = \overline{1, D_{l+1}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Вид обобщенной функции Фабера-Шаудера показан на рис. 2.

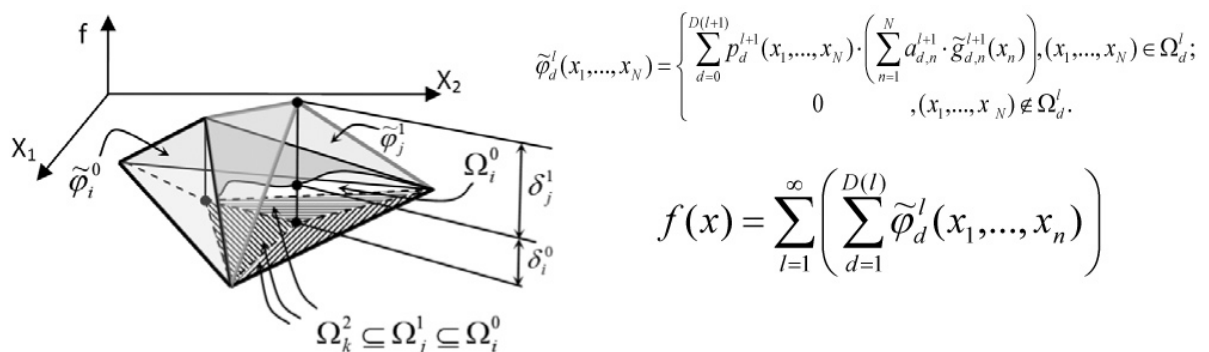


Рис. 2. Вид обобщенной функции Фабера-Шаудера

С учетом аппроксимации поверхности отклика нечеткого вывода с помощью обобщенной функции Фабера-Шаудера выражение (2) может быть представлено в виде

$$F(x_1, \dots, x_N) = k_0 + \sum_{i=1}^N k_i x_i + \sum_{l=1}^L \frac{\sum_{d=1}^D p_d^l(x_1, \dots, x_N) \cdot \left(z_{d,0}^l + K_d^l \sum_{i=1}^N (v_{d,i}^l \cdot \alpha_i(x_i)) \right)}{\sum_{d=1}^D p_d^l(x_1, \dots, x_N)}, \quad (5)$$

где $K_d^l, v_{d,i}^l, z_{d,0}^l$ - коэффициенты, выбираемые в зависимости от положения контрольных прецедентов $\langle (\bar{P}_i, t_i), \tilde{U}^+ \rangle$.

Покажем преимущества модифицированного алгоритма Суджено на примере фрагмента ЭС анализа выполнения маневра самолета «верхний двойной вираж» (см. рис. 3).

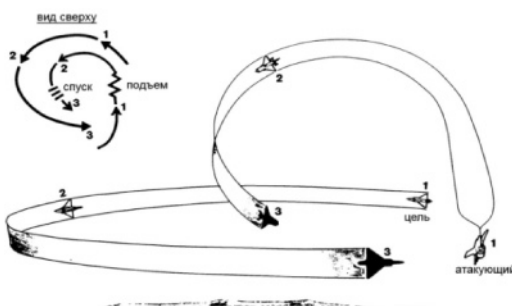


Рис. 3. Общий вид маневра «верхний двойной вираж»

Задача атакующего самолета при выполнении маневра «верхний двойной вираж» - осуществить сближение с целью, осуществляющей оборонительный вираж в горизонтальной плоскости, с выходом на допустимые условия атаки. Эффективность маневра оценивается в процентах по 4 показателям. Большее значение показателя соответствует лучшему варианту выполнения маневра. Также для эффективного маневра необходимо, чтобы значения показателей E_2 и E_3 принимали значение более 85 %. На рис. 4 (сверху) показаны графики функций управляющих воздействий для угла крена, полученные при использовании традиционного алгоритма Суджено, его проведенной модификации и соответствующие выбранному «эталонному» маневру. Можно заметить, что в окрестностях 3 и 15 секунды располагается область решений, в которой применение традиционного алгоритма Суджено приводит к получению значительной погрешности 10..20 градусов по углу крена, что сказывается на снижении показателей качества (см. рис. 4, снизу).

Учет контрольных прецедентов с помощью обобщенных функций Фабера-Шаудера позволил, не модифицируя первоначально созданные экспертом определения в базе знаний ЭС, осуществить коррекцию результатов нечеткого вывода и добиться увеличения значения показателей E_2 и E_3 до уровня выше 85 %.

Таким образом, использование модифицированного алгоритма нечеткого вывода Суджено, основанного на внесении поправки на этапе логического вывода с помощью обобщенных функций Фабера-Шаудера, позволяет осуществить коррекцию нечеткого решения в соответствии с требованиями контрольных прецедентов, не изменяя первоначально заданные экспертные определения в базе знаний ЭС.

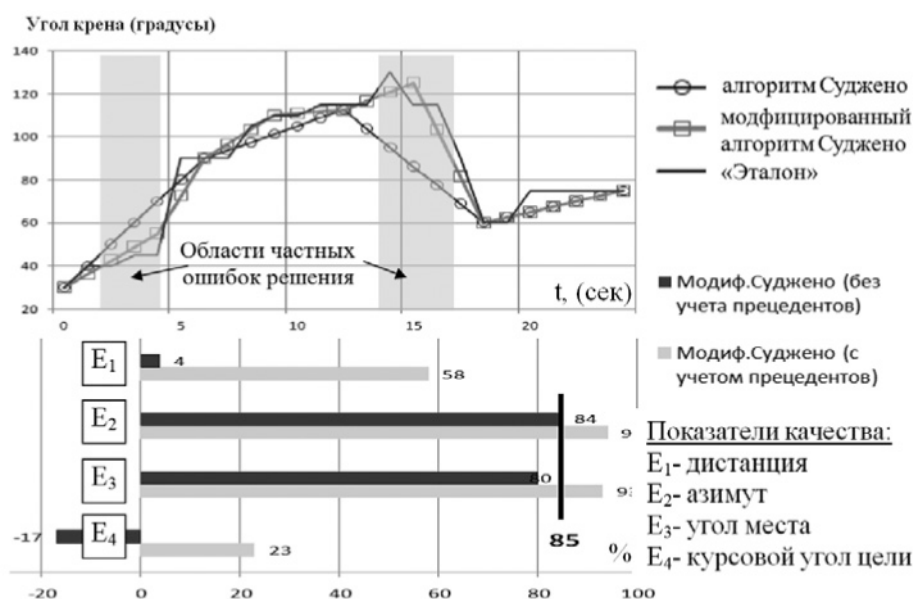


Рис. 4. Значения угла крена и показатели качества маневра с учетом модели редукции ошибки

Литература

1. Тельнов Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы/ Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права.–М.: ,2004.– 82 с.
2. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сложения // Докл. АН СССР .– 1957.– Т. 114 .– с. 953-956
3. Кашин Б.С., Саакян А.А. Ортогональные ряды.–М.: АФЦ,1999.– 560 с.

Method of mistake reduction in expert systems of interactive training systems

77-30569/350058

04, April 2012

Maikov K.A., Jiryakov S.M.

Bauman Moscow State Technical University

mstu@sevik.ru

The authors propose a reduction method of fuzzy output mistakes in production expert systems (ES); this method doesn't require modification of initial expert knowledge base. Sugeno algorithm was taken as a foundation of the proposed method. Error correcting at the stage of logic output using Faber-Schauder functions allowed to correct the fuzzy solution according to the requirements of control precedents without changing the initial definitions in the knowledge base of ES. The advantages of the Sugeno modified algorithm are shown by the example of ES for assessment of an airplane maneuver.

Publications with keywords: [knowledge base](#), [expert system](#), [Sugeno algorithm of fuzzy output](#), [generalized Faber-Schauder functions](#)

Publications with words: [knowledge base](#), [expert system](#), [Sugeno algorithm of fuzzy output](#), [generalized Faber-Schauder functions](#)

References

1. Tel'nov Iu.F. *Intellektual'nye informatsionnye sistemy* [Intelligent information systems]. Moscow, Moscow International Institute of Econometrics, Computer Science, Finance And Right Publ., 2004. 82 p.
2. Kolmogorov A.N. O predstavlenii nepreryvnykh funktsii neskol'kikh peremennykh v vide superpozitsii nepreryvnykh funktsii odnogo peremennogo i slozheniia [The representation of continuous functions of several variables as superpositions of continuous functions of one variable and addition]. *Dokl. AN SSSR*, 1957, vol. 114, pp. 953-956.
3. Kashin B.S., Saakian A.A. *Ortogonal'nye riady* [Orthogonal series]. Moscow, AFTs Publ., 1999. 560 p.