$\phi,\psi \in H$. Using Lemma 3 we obtain the relation (10) from the relation (20).

3) Let us consider the relation (21), where $\mathrm{Im}\zeta \to +0$ and $\mathrm{Re}\zeta = \sigma = \mathrm{const}$. The right side $(S-\sigma)\phi$ is vector function with values in the space H_1. Obviously $\left\|\left[(\tau-\sigma)\phi(\tau)\right]\right\|_{\tau=\sigma} = 0$. So, relations (12)-(13) result from (21).

Theorem 1 is proved.

As conclusion note that one obtain formula of jump of the resolvent (see (10))

$$\left(T_\sigma\phi,\psi\right)_+ - \left(T_\sigma\phi,\psi\right)_- = 2\pi i\left(\left(B_+(\sigma)\phi\right)(\sigma),\left(A_-(\sigma)\psi\right)(\sigma)\right)_{H_1}$$

if 1) condition on the elements ϕ,ψ which give $C_3) - C_4)$ are indicated;

2) condition on ϕ,ψ which permit to prolongate continuously both side of (10) in more wide subspace are given.

Note that sign $\pm$ in the notation $B_+(\sigma), A_-(\sigma)$ correspond to sign of limit values $K_+(\sigma)^{-1}, K_-(\sigma)^{-1}$ in the expression of $B_+(\sigma), A_-(\sigma)$.

References

1. Berezansky Yu.M. Decomposition on eigenvalues of selfadjoint operators, 1965,748 p. (russian).
2. Ljance V.E. Completment continue pertrubation of continuous spectrum Mat. sb. I 82(124), 1970, 126-156,II 84(126), 1971,141-158 (russian).
3. Cheremnikh E.V. On limit values of the resolvent on continuous spectrum, Visnyk "`Lviv polytechnic"', 1997,320,196-203. (russian).

УДК 681.3

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОЦЕНИВАНИЯ НЕЧЕТКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМОЙ

Запропоновано технологію розрахунку аналітичного опису нечітких чисел, що визначає ймовірності стану об'єктів на момент прогнозу, що формуються нечіткою експертною системою. Описано процедуру дефаззифікації результатів прогнозування

Ключові слова: прогнозування, експертна система

Предложена технология расчета аналитических описаний нечетких чисел, определяющих вероятности состояний объекта на момент прогноза, формируемых нечеткой экспертной системой. Описана процедура дефаззификации результатов прогнозирования

Ключевые слова: прогнозирование, экспертная система

The calculation technology of analytical descriptions of fuzzy numbers which determining probabilities of the object's states in the moment of prognosis in the fuzzy expert system is offered. The defuzzification procedure of the prognostication results is described

Keywords: prediction, expert system

О.В. Серая
Кандидат технических наук, доцент*
Н.В. Фищукова
Старший преподаватель*
*Кафедра компьютерного мониторинга и логистики
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина 61002
Контактный тел.: (057) 707-66-28

1. Введение

При решении многих практических задач в технике, экономике, медицине и др. возникает необходимость прогнозирования состояния объекта, характеризуемого набором контролируемых, часто зависимых параметров [1,2]. Такие задачи традиционно решаются с использованием экспертных систем (ЭС) [3-5]. При этом обычно предполагается, что механизм логического вывода этих систем (продукционный или байесов) оперирует с четко заданными базами данных и знаний. Вместе с тем, в последнее время все более ясно осознается понимание необходимости учета реальной неопределенности исходных данных задачи. При этом поскольку законы распределения соответствующих случайных величин, как правило, неизвестны, для их описания используют технологию нечеткой математики, что приводит к применению экспертных систем с нечетким механизмом логического вывода. В силу специфического характера функционирования нечетких ЭС результатом оценивания состояния объекта в таких ЭС является либо, во-первых, набор каких-либо информативных характеристик функций вероятностей состояний (например, положение носителей соответствующих нечетких чисел [6]) либо, во-вторых, сами эти функции принадлежности [7]. В практических ситуациях диагностики объектов, состояние которых меняется во времени, возникает следующая нетривиальная задача.

Пусть в моменты времени $t_1, t_2, ..., t_L$ осуществляется оценка состояния объекта. При этом в первом случае для H возможных состояний объекта в момент времени t_l ЭС формирует набор интервалов $[a_{l1}, b_{l1}], [a_{l2}, b_{l2}], ..., [a_{lh}, b_{lh}], ..., [a_{lH}, b_{lH}]$, $l = 1, 2, ..., L$, накрывающих с заданной надежностью истинные вероятности состояний объекта в момент времени t_l. Эти интервалы можно трактовать как носители нечетких чисел с прямоугольными функциями принадлежности. Во втором случае ЭС определяет совокупность функций принадлежности произвольного вида $\mu_{lh}(p)$, $l = 1, 2, ..., L$, $h = 1, 2, ..., H$, вероятностей состояний объекта.

2. Цель статьи

Разработка технологии прогнозирования состояния объекта по нечетким данным о вероятности его состояний, полученным экспертной системой на заданном множестве наблюдений. Задача прогнозирования в такой постановке ранее не рассматривалась.

3. Постановка задачи

Понятно, что если исходными данными являются нечеткие числа, отображающие распределения вероятностей состояний объекта в моменты наблюдений, то и результатом прогнозирования также будут нечеткие числа. При этом в первом из упомянутых случаев необходимо получить набор интервалов $[a_{L+1,1}, b_{L+1,1}], [a_{L+1,2}, b_{L+1,2}], ..., [a_{L+1,h}, b_{L+1,h}], ..., [a_{L+1,H}, b_{L+1,H}]$, а во втором – совокупность функций принадлежности $\mu_{L+1,h}(p)$, $h = 1, 2, ..., H$. Следует иметь в виду, что результатом решения в рассматриваемой специфической задаче является распределение вероятностей, которое должно удовлетворять условию нормировки. В связи с этим после непосредственного формального проведения процедуры прогнозирования необходимо осуществить дефаззификацию результатов, обеспечивающую удовлетворение требованиям нормировки.

4. Основные результаты

Первый случай. Расчет нечетких вероятностей состояний на момент прогноза будем осуществлять путем независимого прогнозирования нижнего и верхнего значений границ интервала, задающего носитель соответствующего нечеткого числа. Итак, по результатам наблюдений в моменты времени $t_1, t_2, ..., t_L$ для h-го состояния имеем наборы значений $(a_{1h}, a_{2h}, ..., a_{Lh})$ и $(b_{1h}, b_{2h}, ..., b_{Lh})$ нижней и верхней границ интервалов, задающих носители нечетких вероятностей h-го состояния. Модели эволюции нижней и верхней границ опишем следующим образом

$$\alpha^{(h)}(a) = \alpha_0^{(h)} + \alpha_1^{(h)}(t) + ... + \alpha_{d_\alpha^{(h)}}^{(h)} t^{d_\alpha^{(h)}}, \quad d_\alpha^{(h)} < L, \tag{1}$$

$$\beta^{(h)}(b) = \beta_0^{(h)} + \beta_1^{(h)}(t) + ... + \beta_{d_\beta^{(h)}}^{(h)} t^{d_\beta^{(h)}}, \quad d_\beta^{(h)} < L. \tag{2}$$

Параметры полиномов $\alpha(a)$ и $\beta(b)$ определим, используя метод наименьших квадратов. Введем матрицы

$$G_\alpha^{(h)} = \begin{pmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 & ... & t_1^{d_\alpha^{(h)}} \\ 1 & t_2 & t_2^2 & ... & t_2^{d_\alpha^{(h)}} \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ 1 & t_L & t_L^2 & ... & t_L^{d_\alpha^{(h)}} \end{pmatrix}, \ G_\beta^{(h)} = \begin{pmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 & ... & t_1^{d_\beta^{(h)}} \\ 1 & t_2 & t_2^2 & ... & t_2^{d_\beta^{(h)}} \\ ... & ... & ... & ... & ... \\ 1 & t_L & t_L^2 & ... & t_L^{d_\beta^{(h)}} \end{pmatrix}$$

и векторы

$$A_h^T = (a_{1h}, a_{2h}, ..., a_{Lh}), \ B_h^T = (b_{1h}, b_{2h}, ..., b_{Lh}).$$

Тогда искомые векторы

$$\alpha^{(H)^T} = \left(\alpha_0^{(h)} \alpha_1^{(h)} ... \alpha_{d_\alpha}^{(h)}\right), \quad \beta^{(H)^T} = \left(\beta_0^{(h)} \beta_1^{(h)} ... \beta_{d_\beta}^{(h)}\right)$$

коэффициентов полиномов (1), (2) определяются по формулам:

$$\alpha^{(h)} = \left(G_\alpha^{(h)T} G_\alpha\right)^{-1} G_\alpha^{(h)T} A_h, \ \beta^{(h)} = \left(G_\beta^{(h)T} G_\beta\right)^{-1} G_\beta^{(h)T} B_h.$$

Требуемый порядок полиномов определяется при проверке адекватности моделей (1),(2).

Теперь компоненты векторов $\alpha^{(h)}$ и $\beta^{(h)}$ подставляются в соответствующие модели (1) и (2) для расчета нижней и верхней границы интервала, задающего носитель нечеткой вероятности h-го состояния в момент t_{L+1}: $a_{L+1,h} = \alpha_0^{(h)} + \alpha_1^{(h)} t_{L+1} + ... + \alpha_{d_\alpha^{(h)}}^{(h)} t_{L+1}^{d_\alpha^{(h)}}$, $b_{L+1,h} = \beta_0^{(h)} + \beta_1^{(h)} t_{L+1} + ... + \beta_{d_\beta^{(h)}}^{(h)} t_{L+1}^{d_\beta^{(h)}}$.

Процедура повторяется для всех h=1,2,...,H.

Формальная процедура прогнозирования нечетких вероятностей состояний завершена. Однако, непосредственное использование ее результатов не представляется возможным. Дело в том, что набор нечетких вероятностей состояний, строго говоря, нельзя считать распределением вероятностей, так как для совокупности нечетких чисел понятие нормировки просто не введено. Один из возможных путей придания ясного смысла набору нечетких вероятностей состоит в дефаззификации. Заметим, что известные приемы реализации этой процедуры [8,9] в рассматриваемой задаче непригодны, поскольку не обеспечивают выполнение условия нормировки. В связи с этим предлагается следующая технология дефаззификации.

Введем искомый набор $X = (x_1, x_2, ..., x_h, ..., x_H)$ дефаззифицированных вероятностей состояний системы. Эти вероятности должны удовлетворять следующим ограничениям

$$a_{L+1,h} \le x_h \le b_{L+1,h}, \quad h = 1, 2, ..., H, \tag{3}$$

$$\sum_{h=1}^{H} x_h = 1\,. \qquad (4)$$

Понятно, решение возможно, если выполняются неравенства

$$\sum_{h=1}^{H} a_{L+1,h} < 1, \quad \sum_{h=1}^{H} b_{L+1,h} > 1. \qquad (5)$$

Из множества наборов X, удовлетворяющих (3), (4) естественно выбрать такой, значения компонентов которого возможно более близки к середине интервала, задающего соответствующий носитель. При этом степень близости к середине интервала целесообразно сделать тем более высокой, чем короче этот интервал.

В соответствии со сказанным, поставим задачу отыскания набора X, минимизирующего

$$F(X) = \sum_{h=1}^{H} \frac{1}{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}} \left(x_h - \frac{b_{L+1,h} + a_{L+1,h}}{2} \right)^2 \qquad (6)$$

и удовлетворяющего ограничениям (3),(4).

При решении задачи удобно перейти к новым переменным, введя $z_h = x_h - a_{L+1,h}$, $h = 1,2,...,H$. Тогда целевая функция (6) и ограничения (3), (4) преобразуются следующим образом:

$$F(Z) = \sum_{h=1}^{H} \frac{1}{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}} \left(z_h - \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2} \right)^2, \qquad (7)$$

$$0 \le z_h \le b_{L+1,h} - a_{L+1,h}, \quad h = 1,2,...,H\,. \qquad (8)$$

$$\sum_{h=1}^{H} z_h = 1 - \sum_{h=1}^{H} a_{L+1,h} = c\,. \qquad (9)$$

Сначала решим задачу, не учитывая ограничение (8). Используем метод неопределенных множителей Лагранжа. Функция Лагранжа имеет вид:

$$\Phi(Z) = \sum_{h=1}^{H} \frac{1}{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}} \left(z_h - \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2} \right)^2 - \lambda \left(\sum_{h=1}^{H} z_h - c \right).$$

Далее имеем

$$\frac{d\Phi}{dz_h} = \frac{2}{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}} \left(z_h - \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2} \right)^2 - \lambda = 0\,.$$

Отсюда

$$z_h = \lambda \cdot \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2} + \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2}, \quad h = 1,2,...,H \qquad (10)$$

Подставляя (10) в (9), получим

$$\sum_{h=1}^{H} z_h = \lambda \sum_{h=1}^{H} \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2} + \sum_{h=1}^{H} \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2} =$$

$$= (\lambda + 1) \sum_{h=1}^{H} \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2} = (\lambda + 1) d = c.$$

При этом

$$\lambda = \frac{c}{d} - 1\,. \qquad (11)$$

Подставим (11) в (10):

$$z_h = \left(\frac{c}{d} - 1 \right) \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2} + \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2} =$$

$$= \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2} \cdot \frac{1 - \sum_{h=1}^{H} a_{L+1,h}}{\sum_{h=1}^{H} \frac{b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}{2}} =$$

$$= b_{L+1,h} - a_{L+1,h} \cdot \frac{1 - \sum_{h=1}^{H} a_{L+1,h}}{\sum_{h=1}^{H} b_{L+1,h} - a_{L+1,h}}, \quad h = 1,2,...,H.$$

Легко видеть, что, с учетом (5), полученное решение удовлетворяет ограничениям (8) и, таким образом, является искомым. Это решение в исходных переменных имеет вид

$$x_h = a_{L+1,h} + \left(b_{L+1,h} - a_{L+1,h} \right) \cdot \frac{1 - \sum_{h=1}^{H} a_{L+1,h}}{\sum_{h=1}^{H} b_{L+1,h} - a_{L+1,h}},$$

$$h = 1,2,...,H.$$

Второй случай – нечеткие вероятности заданы своими функциями принадлежности. Заметим, что при этом задача сводится к первому случаю с использованием следующего элементарного приема. Для совокупности функций принадлежности $\mu_{L+1,h}(p)$ решим уравнения

$$\mu_{L+1,h}(p) = \varepsilon, \quad h = 1,2,...,H\,, \qquad (12)$$

ε – достаточно малое число (например, $\varepsilon = 0{,}01$).

Каждое из этих уравнений имеет два корня, которые являются оценками нижней и верхней границ интервала, задающего носитель для соответствующего нечеткого числа. Таким образом, задача редуцирована к предыдущей.

5. Выводы

Рассмотрена методика прогнозирования состояния в нечеткой экспертной системе. Задача решалась для двух практически важных случаев, когда функция принадлежности искомых вероятностей состояния является прямоугольной и произвольной. Предложена процедура деффазификации результатов прогнозирования.

Литература

1. Ковалева Л.Н. Многофакторное прогнозирование на основе рядов динамики. – М.: Статистика, 1980. – 102с.

2. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.

3. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему: Пер. с англ. –М.: Энергоатомиздат, 1991. – 287 с.
4. Раскин Л.Г. Серая О.В. Прогнозирование состояния объектов на основе оценок, формируемых экспертной системой // Вестник ХГПУ. – 2000. – № 122, ч.2. – С. 184-186.
5. Раскин Л.Г., Серая О.В. Прогнозирование состояния динамических объектов с использованием экспертных систем // Вестник ХГПУ. – 1999. – № 35. –С.22-25.
6. Серая О.В. Модели и информационные технологии оценки и прогнозирования состояния многомерных динамических объектов в условиях нечетких входных данных: Дис. канд. техн. наук: 05.13.06. – Х., 2001. – 251 с.
7. Серая О.В., Фищукова Н.В. Нечеткая байесова экспертная система.
8. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320с.
9. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации: Пер. с польск. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.

УДК 656.13

АЛГОРИТМ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДОРОЖНЬОГО РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Д.М. Самісько
Асистент
Кафедра «Транспортні технології»
Автомобільно-дорожній інститут Державного вищого навчального закладу Донецький національний технічний університет
вул. Кірова, 51, м. Горлівка, Донецька область, Україна, 84646
Контактний тел.: 050-285-00-06
E-mail: sdn1982@yandex.ru

Розроблено алгоритм моделювання руху транспортного засобу і-тою характерною однорідною ділянкою, у якому підсумовано, враховано і розвинуто доробки робіт [1 – 3], а також доведено їх до практичного використання

Ключові слова: алгоритм, моделювання, рух транспортного засобу

Разработан алгоритм моделирования движения транспортного средства і-тым характерным однородным участком, в котором подытожены, учтены и развиты заделы работ [1 – 3], и доведены до практического использования

Ключевые слова: алгоритм, моделирование, движение транспортного средства

It is developed algorithm of modeling of movement of a vehicle by i characteristic homogeneous site in which it is summed up, considered and developed reserves of works [1 – 3], and also they are finished to practical

Keywords: algorithm, simulation, traffic

1. Вступ

Дана стаття є розвитком досліджень в галузі системного багатофакторного дослідження продуктивності кар'єрного автомобіля-самоскида.

В роботі [1] було доведено, що багатофакторного дослідження продуктивності кар'єрного автомобіля-самоскида є можливим за умови розробки комп'ютерної програми, що моделює процес перевезення. Першим кроком на шляху розробки даної програми є розробка алгоритму моделювання процесу дорожнього руху транспортного засобу і-тою характерною однорідною ділянкою маршруту.

В роботі [2] було розроблено модель процесу дорожнього руху транспортного засобу і-тою характерною однорідною ділянкою маршруту з урахуванням не тільки технічних характеристик автомобіля і умов дорожнього руху, але й довжини характерної однорідної ділянки, максимально можливих прискорень і уповільнень автомобіля та значень його швидкостей на попередній та наступній характерних однорідних ділянках.

В даній роботі розробимо алгоритм, що моделює процес дорожнього руху транспортного засобу і-тою характерною однорідною ділянкою маршруту.

2. Основна частина

Дане дослідження є логічним продовженням досліджень [2] та [3], а тому в алгоритмі використовуються вихідні дані з роботи [3] та такі поняття, як:

1) розрахункове прискорення транспортного засобу на і-тій характерній однорідній ділянці, $a_{розр.і}$, км/год^2, яке визначається за формулою [2]: