УДК 004.8

Д.А. ТЕРЛЕЦКИЙ, А.И. ПРОВОТАР

НЕЧЕТКИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СЕТИ. I

Аннотация. Описана концепция нечетких объектов и классов нечетких объектов, которые позволяют структурировано представлять знания о нечетких, размытых или частично-определенных объектах и их классах. Рассмотрены операции над объектами и классами объектов, с помощью которых можно получать множества и новые классы нечетких объектов, а также моделировать процессы изменения структуры объектов под воздействием внешних факторов.

Ключевые слова: нечеткий объект, нечеткий класс объектов.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из основных задач, которая стоит перед учеными в области искусственного интеллекта (ИИ), — разработка интеллектуальных информационных систем (ИИС) для решения соответственных задач в различных областях ИИ. Часто решение такой задачи сводится к эвристическому программированию, которое может давать хорошие результаты, но при этом не решать проблемы комплексно. К наибольшим классам ИИС относятся системы, которые основаны на моделях представления знаний (МПЗ). На сегодня известны и активно используются следующие модели: семантические сети, концептуальные графы, фреймы, скрипты, логические и продукционные модели, онтологии и т.д. Но несмотря на использование в качестве основы для ИИС той или иной МПЗ, при ее реализации данная система будет иметь как минимум два уровня: уровень МПЗ и уровень ее практической реализации. Часто реализация определенной МПЗ создает определенные проблемы и сложности, связанные с взаимодействием различных уровней системы. В связи с этим в [1] была предложена, объектно-ориентированная модель представления знаний, которую можно интегрировать в объектно-ориентированные языки программирования и тем самым объединить саму МПЗ и язык ее реализации. Такой подход позволит избавиться от некоторых уровней абстракции и в некоторой степени упростить структуру разрабатываемой системы и, собственно, сам процесс разработки.

В настоящей статье излагаются основные идеи, которые составляют основу построения нечетких объектно-ориентированных динамических сетей, в частности нечетких объектов и классов, которые позволяют структурировано представлять знания о нечетко заданных, размытых или не полностью определенных объектах и при этом их классифицировать. Также рассматриваются операции над нечеткими объектами и классами нечетких объектов, с помощью которых можно строить множества и новые классы нечетких объектов и, таким образом, получать новые знания.

НЕЧЕТКИЕ ОБЪЕКТЫ И КЛАССЫ

В качестве объектов можно рассматривать как произвольные предметы из нашей реальной жизни, так и результаты работы нашего воображения. Иными словами, объектом может быть все то, что каким-то образом можно воспринять, т.е. чувствовать или представлять. Очевидно, что каждый объект независимо от своей природы имеет определенные свойства, которые для него есть характеристическими. Возьмем для примера натуральное число. Очевидно, что оно должно быть целым и бóльшим нуля. Это и есть характеристические свойства натуральных чисел, которые позволяют отличать их от других объектов. Действительно, для того чтобы выявить, являются ли числа -1, 4.67 и 5 натуральными, необходимо проверить их свойства, в частности обладают ли эти числа теми же свойствами, что и натуральные. В результате проверки становится очевидным, что числа -1 и 4.67 не есть натуральными. Отсюда можно сделать вывод, что натуральное число является четко определенным объектом. Но кроме четких объектов существуют и другие — размытые, приблизительные или не полностью описанные объекты. Они возникают при попытке что-то вспомнить, при описании наших желаний или фантазий, при поиске того, о чем знаем очень мало, и т.д. Они возникают в нашем воображении, когда хотим формализовать что-то интуитивное, в целом имеющее нечеткую природу с точки зрения логики или математики. Впервые формальный подход для описания таких объектов был предложен Л. Заде в [2]. Со временем этот подход трансформировался в теорию, в рамках которой было получено много результатов, в частности в области построения информационных систем, которые оперируют с нечеткими понятиями. Учитывая гибкость и эффективность подхода, предложенного Л. Заде, здесь будем использовать некоторые его идеи для формального определения нечетких объектов.

В дополнении к сказанному выше касательно объектов и их свойств обратим внимание на важный момент: свойства объекта и сам объект тесно взаимосвязаны и не могут существовать в отдельности. Свойства не существуют сами по себе без объекта, поскольку объект есть их проявлением и без него нельзя увидеть, понять и просто описать свойства. В свою очередь, объект не может существовать без свойств, так как их отсутствие не даст возможности построить или даже представить объект. Очевидно, что этот факт имеет место как для четких, так и нечетких объектов. Поэтому невозможно дать формальное определение понятию объекта, при этом формально не определив его свойства, и наоборот — нельзя определить свойства, не зная объекта. В связи с этим сначала определим свойства объекта, а затем и сам объект с учетом их взаимосвязи.

Перед непосредственным рассмотрением свойств объекта заметим, что они подразделяются на количественные и качественные.

Определение 1. Нечеткое количественное свойство объекта A — это кортеж вида $p(A)=(V(p(A)), u(p(A)))$, где $V(p(A))=\{v_1/\mu(v_1), \ldots, v_n/\mu(v_n)\}$ — нечеткое множество, описывающее количественное значение свойства $p(A)$, а $u(p(A))$ — единицы его измерения.

Пример 1. Рассмотрим такой объект как яблоко, одним из свойств которого есть его масса. Взвесив его, узнаем точную массу, и это определит значение его четкого количественного свойства, описанного в [1]. Но если нельзя приблизительно или точно взвесить яблоко и тем самым определить его массу, то можем представить ее, используя нечеткое множество $p_m(A)=(V(p_m(A)), u(p_m(A)))$. Если возьмем в руку яблоко и, основываясь на ощущениях, выявим, что его масса составляет порядка 100 г, то ее можно представить в виде

$$p_m(A)=(\{95/0.8+100/0.9+105/1+110/0.9+115/0.8\}\text{г}). \spadesuit$$

Определим эквивалентность двух нечетких количественных свойств объектов для возможности их сравнения.

Определение 2. Два нечетких количественных свойства: $p(A)$ и $p(B)$ эквивалентны, т.е. $Eq(p(A), p(B))=1$, тогда и только тогда, когда выполняются следующие условия:

1) $u(p(A))=u(p(B))$;

2) $\mu(v_i)-\mu(v_j)=0$, $i=\overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$;

3) $v_{k+1}-v_k=v_{w+1}-v_w$, $k=\overline{1,n-1}$, $w=\overline{1,m-1}$.

Определение 3. Нечеткое качественное свойство объекта A — это функция верификации $vf(A)\colon p(A) \to [0,1]$, которая отражает степень (меру) истинности (выполнения) свойства $p(A)$ для объекта A.

Пример 2. Рассмотрим такой объект, как арбуз и такое его свойство, как форма (подразумевается геометрическая форма). Можно различными способами описывать форму арбуза, но исходить следует из того, что его форма напоминает шар. Очевидно, что каждый конкретный арбуз будет иметь уникальную форму приплюснутого шара. Но преимущество такого подхода в том, что шар — это четко определенный геометрический объект, поэтому геометрическую форму арбуза, а именно насколько он шарообразный, можно представить, как функцию верификации его шарообразности, т.е. $vf_b(W)\colon p_b(W) \to [0,1]$. ♠

Определим эквивалентность двух нечетких качественных свойств объектов для возможности их сравнения.

Определение 4. Два нечетких качественных свойства: $vf_i(A)$ и $vf_j(B)$ эквивалентны, т.е. $Eq(vf_i(A), vf_j(B)) = 1$, тогда и только тогда, когда выполняется следующее условие: $((vf_i(A) = vf_j(A)) \wedge (vf_i(B) = vf_j(B)))$.

Поскольку один объект может иметь несколько свойств, причем как количественных, так и качественных, будет логично определить понятие спецификации нечеткого объекта.

Определение 5. Спецификация нечеткого объекта A — это вектор вида $P(A) = (p_1(A), \ldots, p_n(A))$, где $p_i(A)$, $i = \overline{1,n}$, — количественное или качественное свойство объекта A.

Иными словами, спецификация нечеткого объекта может состоять как из четко заданных, так и нечетких свойств. Более того, качественные свойства являются частными случаями нечетких качественных свойств.

Далее, используя понятие спецификации нечеткого объекта, можно определить понятие непосредственно самого нечеткого объекта.

Определение 6. Нечеткий объект — это пара вида $A / P(A)$, где A — это идентификатор объекта, а $P(A)$ — его спецификация.

Пример 3. Рассмотрим такой объект, как арбуз, о котором известно, что он имеет шарообразную форму и вес порядка 4 кг. Используя определение нечеткого объекта, можно формально представить арбуз как $W / P(W)$, где $P(W) = (vf_b(W), p_m(W))$, $vf_b(W) = 0.8$ и $p_m(W) = (\{3.7/0.8 + 4/0.9 + 4.3/1 + 4.5/0.9 + 4.7/0.7\}, \text{кг})$. ♠

Очевидно, что спецификация объекта W может иметь большее количество свойств, это зависит от степени детализации, с которой рассматриваем объект.

Кроме свойств объектов необходимо учитывать методы (операции), которые можно к ним применить, что позволяет в некоторой степени оперировать этими объектами. Отсюда логично определить понятие метода объекта.

Определение 7. Операция (метод) нечеткого объекта A — это функция $f(A)$, которую можно применить к объекту с учетом особенностей его спецификации.

В зависимости от характера воздействия на объект методы можно разделить на два типа: модификаторы — функции, которые могут изменять объект, в частности значения его свойств, и эксплуататоры — функции, использующие объекты в качестве неизменяемых параметров.

Пример 4. Рассмотрим такой нечеткий объект, как квадрат A, который задан спецификацией $P(A) = (p_1(A), \ldots, p_4(A))$, где $p_1(A) = (4, \text{ст.})$ — количество сторон, $p_2(A) = (4, \text{угл.})$ — количество углов, $p_3(A) = (\{2/0.9 + 2.2/1 + 2.4/0.9\}, \text{см})$ — размер сторон, $p_4(A) = (90^\circ)$ — градусная мера углов. Примером эксплуататора для квадрата A есть функция вычисления его площади, т.е. $S(A)=(v_i)^2$, где $v_i / \mu(v_i) \in V(p_3(A))$. В результате получим

$$S(A)=\left(\left\{\frac{2^2}{0.9}+\frac{2.2^2}{1}+\frac{2.4^2}{0.9}\right\},\text{см}\right)=\left(\left\{\frac{4}{0.9}+\frac{4.84}{1}+\frac{5.76}{0.9}\right\},\text{см}\right).$$

Примером модификатора в этом случае может быть функция роста квадрата, применение которой способствует увеличению размера сторон: $H(A)=v_i+h$, где h — некоторое натуральное число. В результате получим

$$H(A)=\left(\left\{\frac{2+h}{0.9}+\frac{2.2+h}{1}+\frac{2.4+h}{0.9}\right\},\text{см}\right). \ \spadesuit$$

Поскольку к одному и тому же объекту можно применить несколько методов, логично определить понятие сигнатуры нечеткого объекта.

Определение 8. Сигнатура нечеткого объекта A — это вектор вида $F(A)=(f_1(A),\ldots,f_m(A))$, где $f_i(A)$, $i=\overline{1,m}$, — метод объекта A.

Далее для сравнения определим эквивалентность двух нечетких объектов.

Определение 9. Два нечетких объекта A и B считаются однотипными тогда и только тогда, когда имеют эквивалентные спецификации и к ним можно применить одни и те же методы, т.е. $P(A)=P(B)$ и $F(A)=F(B)$.

Очевидно, что каждый объект независимо от своей природы принадлежит по крайней мере одному классу. В связи с этим определим понятие класса нечетких объектов.

Определение 10. Класс нечетких объектов — это кортеж вида $T=(P(T),F(T))$, где $P(T)$ — спецификация, когда описывается некоторое количество нечетких объектов, а $F(T)$ — их сигнатура.

Под классом нечетких объектов подразумевают свойства объектов и методы, которые к ним можно применить. Другими словами, класс нечетких объектов — это обобщенная форма рассмотрения некоторого количества нечетких объектов без самих объектов. Анализируя определение класса нечетких объектов, можно сделать следующий вывод: при создании объектов этого класса все нечеткие количественные свойства могут быть представлены в виде нечетких множеств второго типа [4].

Как и в случае с классами четко заданных объектов, классы нечетких объектов можно разделить на два типа: однородные и неоднородные. Причины такого разделения, особенности и примеры этих типов классов объектов детально описаны в [1, 3]. Поэтому перейдем непосредственно к определениям понятий однородного и неоднородного классов нечетких объектов.

Определение 11. Однородный класс нечетких объектов — это нечеткий класс объектов, который описывает только однотипные нечеткие объекты.

Пример 5. Однородными классами нечетких объектов есть любые классы выпуклых многоугольников: квадратов, прямоугольников, треугольников и т.д. $\spadesuit$

Определение 12. Неоднородный класс нечетких объектов — это кортеж вида $T=(\mathrm{Core}(T),\, pr_1(A_1),\ldots,\, pr_n(A_n))$, где $\mathrm{Core}(T)=(P(T),F(T))$ — ядро класса объектов T, состоящее только из тех свойств и методов, которые есть общими для спецификаций $P(A_1),\ldots,P(A_n)$ и сигнатур $F(A_1),\ldots,F(A_n)$ соответственно; $pr_i(A_i)=(P(A_i),F(A_i))$, $i=\overline{1,n}$, — проекции объектов, состоящие только из свойств и методов, характерных только для нечетких объектов $A_1,\ldots,A_n$.

Пример 6. Неоднородными классами нечетких объектов есть классы всех выпуклых многоугольников, класс всех машин одной марки, класс всех телевизоров одного производителя и т.д. ♠

ОПЕРАЦИИ НАД НЕЧЕТКИМИ ОБЪЕКТАМИ И КЛАССАМИ

Особенность всех упомянутых ранее методов, независимо от класса, где они определены, заключается в том, что все они являются локальными, т.е. замкнутыми на класс, в котором они определены. Это связано с тем, что по сути методы объектов определяются с учетом спецификаций объектов, т.е. исходя из свойств. Существуют методы, которые определены в одном классе нечетких объектов, но при этом могут применяться к другим классам нечетких объектов, т.е. в определенной степени они полиморфны. В некоторых объектно-ориентированных языках программирования для реализации полиморфизма используется такой механизм, как перегрузка операторов [5].

В работе [3] были рассмотрены такие операции, как объединение, пересечение, разность, симметричная разность и клонирование, которые можно применять к любым объектам и классам объектов, при этом они не нуждаются в перегрузке и являются в некоторой степени универсальными. Важными особенностями этих методов — их теоретико-множественная (объектная) природа и возможность с их помощью получать новые объекты и классы объектов. Это имеет непосредственное отношение к такой важной задаче, как RCG — генерации классов при выполнении программ. Несмотря на то, что все эти операции были определены для четко заданных объектов и классов объектов, они также могут быть применимы к нечетким объектам и классам нечетких объектов. Здесь не будем определять сами операции, так как они аналогичны для случая нечетких объектов и классов нечетких объектов. Приведем пример их практического применения.

Пример 7. Рассмотрим такие геометрические фигуры, как квадрат A и ромб B. Очевидно, что они являются представителями разных классов выпуклых многоугольников. Определим их классы следующим образом:

$$T(A)=(P(T(A)),F(T(A)))=((p_1(T(A)),\dots,p_6(T(A))),(f_1(T(A)),f_2(T(A)))),$$

$$T(B)=(P(T(B)),F(T(B)))=((p_1(T(B)),\dots,p_6(T(B))),(f_1(T(B)),f_2(T(B)))),$$

где $p_1(T(A))=(4,\text{ст.})$, $p_1(T(B))=(4,\text{ст.})$ — количество сторон; $p_2(T(A))$, $p_2(T(B))$ — размеры сторон,

$$p_2(T(A))=((\{2.9/0.95+3/1+3.4/0.75\},\text{см}),(\{2.9/0.95+3/1+3.4/0.75\},\text{см}),$$

$$(\{2.9/0.95+3/1+3.4/0.75\},\text{см}),(\{2.9/0.95+3/1+3.4/0.75\},\text{см})),$$

$$p_2(T(B))=((\{1.7/0.85+2/1+2.1/0.95\},\text{см}),(\{1.7/0.85+2/1+2.1/0.95\},\text{см}),$$

$$(\{1.7/0.85+2/1+2.1/0.95\},\text{см}),(\{1.7/0.85+2/1+2.1/0.95\},\text{см}));$$

$p_3(T(A))=(4,\text{угл.})$, $p_3(T(B))=(4,\text{угл.})$ — количество углов фигуры;
$p_4(T(B))$, $p_4(T(A))=(90^\circ,90^\circ,90^\circ,90^\circ)$ — градусные меры углов;
$p_5(T(A))=1$, $p_5(T(B))=1$ — равенство всех сторон;
$p_6(T(A))=1$, $p_6(T(B))=0.8$ — равенство всех углов;
$f_1(T(A))=4a$, $f_1(T(B))=4b$ — методы расчета периметра;
$f_2(T(A))=a^2$, $f_2(T(B))=b^2\sin\alpha$ — методы расчета площади.

Анализируя классы $T(A)$ и $T(B)$, можно констатировать, что они являются классами нечетких квадратов и ромбов соответственно, поскольку их спецификации содержат нечеткие количественные и качественные свойства.

Далее определим спецификации и сигнатуры нечетких объектов A и B, используя спецификации и сигнатуры их классов:

$$p_1(A) = 4,$$

$$p_2(A) = ((\{2.9 / \{0.8 / 0.9 + 0.95 / 1 + 0.9 / 0.95\}, 3 / \{0.9 / 0.9 + 1 / 1 + 0.85 / 0.85\},$$
$$3.4 / \{0.7 / 0.95 + 0.75 / 1 + 0.6 / 0.8\}\}, \text{см}), (\{2.9 / \{0.8 / 0.9 + 0.95 / 1 + 0.9 / 0.95\},$$
$$3 / \{0.9 / 0.9 + 1 / 1 + 0.85 / 0.85\}, 3.4 / \{0.7 / 0.95 + 0.75 / 1 + 0.6 / 0.8\}\}, \text{см});$$
$$(\{2.9 / \{0.8 / 0.9 + 0.95 / 1 + 0.9 / 0.95\}, 3 / \{0.9 / 0.9 + 1 / 1 + 0.85 / 0.85\},$$
$$3.4 / \{0.7 / 0.95 + 0.75 / 1 + 0.6 / 0.8\}\}, \text{см}), (\{2.9 / \{0.8 / 0.9 + 0.95 / 1 + 0.9 / 0.95\},$$
$$3 / \{0.9 / 0.9 + 1 / 1 + 0.85 / 0.85\}, 3.4 / \{0.7 / 0.95 + 0.75 / 1 + 0.6 / 0.8\}\}, \text{см});$$

$$p_3(A) = 4; \ \ p_4(A) = (90^\circ, 90^\circ, 90^\circ, 90^\circ); \ \ p_5(A) = 1; \ \ p_6(A) = 1;$$

$$p_1(B) = 4; \ \ p_2(B) = ((\{1.7 / \{0.7 / 0.8 + 0.85 / 1 + 0.9 / 0.95\}, 2 / \{0.8 / 0.8 + 1 / 1 + 0.9 / 0.9\},$$
$$2.1 / \{0.8 / 0.85 + 0.95 / 1 + 0.7 / 0.75\}\}, \text{см}), (\{1.7 / \{0.7 / 0.8 + 0.85 / 1 + 0.9 / 0.95\},$$
$$2 / \{0.8 / 0.8 + 1 / 1 + 0.9 / 0.9\}, 2.1 / \{0.8 / 0.85 + 0.95 / 1 + 0.7 / 0.75\}\}, \text{см}),$$
$$(\{1.7 / \{0.7 / 0.8 + 0.85 / 1 + 0.9 / 0.95\}, 2 / \{0.8 / 0.8 + 1 / 1 + 0.9 / 0.9\},$$
$$2.1 / \{0.8 / 0.85 + 0.95 / 1 + 0.7 / 0.75\}\}, \text{см}), (\{1.7 / \{0.7 / 0.8 + 0.85 / 1 + 0.9 / 0.95\},$$
$$2 / \{0.8 / 0.8 + 1 / 1 + 0.9 / 0.9\}, 2.1 / \{0.8 / 0.85 + 0.95 / 1 + 0.7 / 0.75\}\}, \text{см});$$

$$p_3(B) = 4; \ \ p_4(B); \ \ p_5(B) = 1; \ \ p_6(B) = 0.8.$$

Используя нечеткий квадрат A и нечеткий ромб B в качестве аргументов, рассмотрим операции объединения, пересечения, разности, симметричной разности и клонирования.

Операция объединения: $S = A / T(A) \cup B / T(B) = \{A, B\} / T(S)$.

В результате получено множество нечетких объектов S и новый класс нечетких объектов $T(S) = (\text{Core}(T(S)), pr_1(A), pr_2(B))$. Здесь

$$\text{Core}(T(S)) = (p_1(T(S)), p_2(T(S)), p_3(T(S)), f_1(T(S))),$$

где $p_1(T(S)) = (4, \text{ст})$ — количество сторон; $p_2(T(S)) = (4, \text{угл.})$ — количество углов, $p_3(T(S)) = 1$ — равенство всех сторон, $f_1(T(S)) = 4a$ — метод расчета периметра; $pr_1(A) = (p_2(A), p_4(A), p_6(A), f_2(A))$, $pr_2(B) = (p_2(B), p_4(B), p_6(B), f_2(B))$. Отсюда можно сделать вывод, что S является множеством нечетких квадратов типа $T(A)$ и нечетких ромбов типа $T(B)$, а класс $T(S)$ является неоднородным классом нечетких объектов и описывает одновременно два типа фигур: $T(A)$ и $T(B)$.

Операция пересечения: $A / T(A) \cap B / T(B) = T(A \cap B)$.

В результате получен новый класс нечетких объектов $T(A \cap B) = (\text{Core}(T(A \cap B)))$, где

$$\text{Core}(T(A \cap B)) = (p_1(T(A \cap B)), p_2(T(A \cap B)), p_3(T(A \cap B)), f_1(T(A \cap B))).$$

Все свойства, которые содержатся в $\text{Core}(T(A \cap B))$, совпадают со свойствами из ядра класса $T(S)$, полученного в результате объединения нечетких объектов A и B. Из анализа результата нельзя точно определить, какой именно тип геометрических фигур описывает класс нечетких объектов $T(A \cap B)$, но при этом можно сказать, что он является однородным и состоит из свойств, которые являются общими для нечетких квадратов класса $T(A)$ и нечетких ромбов класса $T(B)$.

Операция разности: $A / T(A) \setminus B / T(B) = T(A \setminus B)$.

В результате получаем новый класс нечетких объектов

$$T(A \setminus B) = (p_2(A), p_4(A), p_6(A), f_2(A)).$$

Все свойства, которыми он обладает, в точности повторяются в проекции объекта A, полученной в результате объединения нечетких объектов A и B, т.е. $pr_1(A) = (p_2(A), p_4(A), p_6(A), f_2(A))$. Из анализа результата видно, что в отличие от предыдущего случая однородный класс нечетких объектов $T(A \setminus B)$ описывает нечеткий ромб, используя при этом меньшую спецификацию.

Операция симметричной разности: $A / T(A) \div B / T(B) = T(A \div B)$.

В результате получаем новый класс нечетких объектов $T(A \setminus B) = (pr_1(A), pr_2(B))$, где проекции $pr_1(A) = (p_2(A), p_4(A), p_6(A), f_2(A))$, $pr_2(B) = (p_2(B), p_4(B), p_6(B), f_2(B))$ аналогичны проекциям, полученным при объединении нечетких объектов A и B. Анализируя результат, можно сделать вывод, что неоднородный класс нечетких объектов $T(A \div B)$ описывает два типа геометрических фигур, один из которых может быть нечетким ромбом, а второй — нечетким квадратом или прямоугольником.

Операция клонирования: $Clone_1(A) = A_1 / T(A)$.

В результате получена новая нумерованная копия нечеткого объекта A. ♠

Из примера 7 видно, что все рассмотренные операции над нечеткими объектами есть эксплуататорами, поскольку они не изменяют нечетких объектов A и B, а только используют их в качестве параметров. В связи с этим перейдем к рассмотрению другого типа операций над нечеткими объектами — модификаторам. Детальное определение модификатора объектов сделано в [1, 6], где рассматривались пять типов модификаторов (полный, частичный, порождающий, уничтожающий и заменяющий) и показан принцип построения на их основе комбинированных модификаторов. В [6] была проанализирована структура объектов и классов объектов, а также показаны структурные взаимосвязи между свойствами объектов и классов объектов в рамках их спецификаций. Эти взаимосвязи играют важную роль, поскольку в случае модификации они могут быть нарушены, в результатае чего модель может не соответствовать реальным объектам, изменения которых необходимо смоделировать. Такое явление названо в [6] принципом рефлексии, согласно которому в природе довольно часто невозможны изменения какого-либо свойства без определенного воздействия на другие свойства, которые с ним связаны. Пример 7 частично демонстрирует этот принцип, поскольку свойства $p_5(A)$ и $p_6(A)$ непосредственно зависят от значений свойств $p_2(A)$ и $p_4(A)$ соответственно. Из этого следует, что иногда модификация свойств $p_2(A)$ и $p_4(A)$ обусловливает изменение свойств $p_5(A)$ и $p_6(A)$, поскольку в противном случае данная модель перестанет описывать процесс, который рассматривается; более того, она станет противоречивой. Предположим, что мы модифицировали свойство $p_2(A)$, определив разные длины сторон фигуры. Если при этом не модифицируем свойство $p_5(A)$, то получим противоречивость.

В основе процессов модификации четко заданных и нечетких объектов или классов объектов лежит один и тот же принцип — отличие состоит только в четкости или нечеткости спецификации. В связи с этим приведем пример модификации нечеткого объекта.

Пример 8. Рассмотрим нечеткий квадрат A из предыдущего примера и модифицируем его таким образом, чтобы в результате получить нечеткий ромб. Для этого построим частичный модификатор $M(A) = (m_2(p_2(A)), m_4(p_4(A)), m_6(p_6(A)))$. Здесь

$$m_2(p_2(A)) = (\{2.3/\{0.8/0.9+0.95/1+0.9/0.95\},\ 2.6/\{0.9/0.9+1/1+0.85/0.85\},$$
$$3.1/\{0.7/0.95+0.75/1+0.6/0.8\}\}, \text{см}),$$

$m_4(p_4(A)) = (95^\circ, 85^\circ, 95^\circ, 85^\circ)$, $m_6(p_6(A)) = 0.85$ — это функции модификации свойств $p_2(A)$, $p_4(A)$ и $p_6(A)$ соответственно. Таким образом, нечеткий объект A трансформировался в нечеткий ромб A_1 под воздействием модификатора $M(A)$.

Следует отметить, что такая модификация объекта A также приводит к изменению в сигнатуре его класса, поскольку метод $f_2(A)$ некорректен для нечеткого объекта A_1, и поэтому метод $f_2(A_1)$ становится неопределенным. Анализируя результат модификации, можно сделать вывод, что модификация объектов и классов объектов обусловливает создание новых классов объектов, что также имеет непосредственное отношение к RCG. ♠

Этот пример демонстрирует лишь некоторые из многих аспектов процесса модификации объектов и классов объектов. Отметим, что в качестве функций модификации нечетких свойств объектов могут выступать все известные операции над нечеткими множествами. Рассмотрим соответствующий пример.

Пример 9. В качестве объекта используем нечеткий ромб B из примера 7. Рассмотрим следующие частичные модификаторы: $M_1(B) = (m_6^1(p_6(B)))$ и $M_2(B) = (m_6^2(p_6(B)))$, где $m_6^1(p_6(B)) = (v(p_6(B)))^{k^{-1}} = 0.8^{k^{-1}}$ и $m_6^2(p_6(B)) = (v(p_6(B)))^n = 0.8^n$ представляют функции модификации свойства $p_6(B)$; k, n — натуральные числа. В данном случае модификаторы $M_1(B)$ и $M_2(B)$ являются операциями разбавления и концентрации нечетких множеств [7]. ♠

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье были сформулированы определения нечеткого объекта и класса нечетких объектов, на основании которых можно структурно описывать нечеткие объекты, позволяя при этом их классифицировать. Также рассмотрены два типа операций над нечеткими объектами и классами нечетких объектов (эксплуататоры и модификаторы), с помощью которых можно создавать множества и новые классы объектов, а также моделировать изменения структуры объектов и их свойств, в частности под воздействием внешних факторов. Такой подход позволяет моделировать некоторые возможности человеческого интеллекта, в частности механизмы анализа, классификации, поиска, распознавания объектов и классов объектов по признакам. Полученные результаты дают возможность свидетельствовать о построении нечетких объектно-ориентированных динамических сетей, как модели представления знаний о нечетких объектах, классах и концептах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Terletskyi D.O., Provotar A.I. Object-oriented dynamic networks. — Computational models for business and engineering domains / Ed. by G. Setlak, K. Markov. — Rzeszow: ITHEA, 2014. — 298 p.
2. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and control. — 1965. — N 8. — P. 338–353.
3. Terletskyi D.O., Provotar O.I. Mathematical foundations for designing and development of intelligent systems of information analysis // Problems in Programming. — 2014. — N 2–3. — P. 233–241.
4. Castillo O., Melin P. Type-2 fuzzy logic theory and applications. — Berlin: Springer-Verlag, 2008. — 244 p.
5. Stroustrup B. The C++ programming language: Fourth Edition. — Michigan: Addison-Wesley Professional, 2013. — 1368 p.
6. Терлецький Д.О., Провотар О.І. Класові та об'єктні модифікатори // Матеріали XII Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики», Київ, 24–25 квітня 2014 р. — К.: ВПІВПК «Політехніка», 2014. — С. 85–87.
7. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. — М.: Горячая линия-Телеком, 2006. — 382 с.

Поступила 07.10.2014