где f_0, f_n - соответственно начальное и конечное значения шкалы F.

Используя (4.1) определим нечёткую оценку

$$\mu(\sigma) = \mu(\tau_1) \ \& \ \mu(\tau_2) \ \& \mu(\tau_3) \ , \qquad (4.2)$$

отражающую степень "выраженности" тех или иных формант на всем интервале анализа T, при условии заданного разбиения σ. Задача комплексного моделирования заключается в нахождении всех возможных разбиений шкалы T на три подинтервала. Используя (4.1), определим в пространстве T x T для каждого из $P_{\tau i}$ разбиения σ нечёткое отношение $\tilde{D}_i$ в соответствии с

$$\mu_{Di}(t_i,t_j) = \mu(\tau) \quad (\tau = [t_i,t_j]). \qquad (4.3)$$

Отношение $\tilde{D}_i$ характеризует для каждого из сегмента $[t_i,t_j]$ нечёткую оценку "выраженности" на нём формант, соответствующих подобразу $P_{\tau i}$. В этом случае, по аналогии с п.3, можно сформировать не чёткую композицию

$$\tilde{D} = \tilde{D}_1 \circ \tilde{D}_2 \circ \tilde{D}_3, \qquad (4.4)$$

которая будет характеризовать для каждой из пар $(t_i\ t_j)$ наилучшее (в смысле максимизации (4.2)) разбиение временного сегмента $[t_i,t_j]$. Подставив в (4.4) пару (t_0,t_n), в которой t_0 и t_n являются границами интервала анализа, получим искомую интегральную оценку $\mu_{\tilde{D}}(t_0\ t_n)$ речевого образа на всём интервале анализа. Оптимальное разбиение находится путём выделения соответствующего маршрута в ходе реализации композиции (4.4).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Потапова Р.К.* Речь: коммуникация, информация, кибернетика. - М.: Радио и связь, 1997-528с.
2. *Мелихов А.Н., Берштейн Л.С.* Конечные четкие и расплывчатые множества. Часть 2 . - Таганрог: ТРТУ, 1981.

УДК 519.68:681.51

С.В. Астанин, Т.Г. Калашникова*

МОДЕЛЬ НЕМОНОТОННЫХ РАССУЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Различные немонотонные логики увеличивают гибкость вывода продукционных систем в области с неполными знаниями. Однако, правило умолчания: **если** <посылка> **и М** <решение> **то** <решение>, где М – читается как “допускается”, может привести к неверному решению из-за нежелательной транзитивности. Избежать этого можно, перечислив все исключения, которые не позволяют принять решение в правилах с умолчаниями. Правило с исключением может быть выражено как:

если <посылка> **то** <решение> **если не** <исключение>.

Явная обработка исключений уменьшает вероятность появления аномального решения, увеличивает надежность системы.

При выборе схемы управления в зависимости от доступной информации в одном случае можно игнорировать условие исключения и обрабатывать правило как **если** <посылка> **то** <решение>, тогда как в другом необходимо расходовать вычислительные ресурсы для исследования исключений и, соответственно, получения вывода в точном виде. Исключения могут учитываться при получении реше-

* Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 99-01-0024.

ния с компромиссом между точностью и вычислительными ресурсами (время ответа в случае системы реального времени). Модифицированное правило – **если** P **то** D **если не** E – предполагает, что как только посылка установлена, решение может быть принято, если в тоже время не установлено исключение. Поскольку исключения встречаются очень редко, в большинстве случаев решение следует за посылкой. При этом только решение (D) или исключение (E) может быть истинным. Так отношение, определенное с помощью оператора **если не** между D и E имеет вид [1]: $(D \cap \overline{E}) \cup (E \cap \overline{D})$, где $\overline{}$, $\cup$, $\cap$ показывают нечеткое дополнение, max и min, соответственно. Для относительной разницы в вероятности D и E в отношение вводится коэффициент θ. Данный коэффициент показывает вес (информативность) исключения. Модифицированное отношение имеет вид $(D \cap \overline{\theta E}) \cup (\theta E \cap \overline{D})$. Теперь правило имеет вид: **если** P **то** $[(D \cap \overline{\theta E}) \cup (\theta E \cap \overline{D})]$, причем θ=1 – когда исключения исследованы, θ=0 – когда исключения не исследованы. Распределение точности решения вместе с учетом исключения обусловлено выбором значения θ. Так θ может быть фиксированным в соответствии с природой рассматриваемой области. Трудно заранее определить θ для всех случаев моделирования человеческих рассуждений. Здесь было бы правильным положиться на знания эксперта в данной предметной области, насколько высоко он оценит вес каждого исключения в каком-либо конкретном случае. Экспериментальные исследования показывают, что выбор θ равным значению функции принадлежности исключения μ_E дает результат, сопоставимый с умозаключениями человека.

Совместимость пары решение–исключение выражается следующим образом $\max\{\min(\mu_D, \mu_{\overline{\theta E}}), \min(\mu_{\theta E}, \mu_{\overline{D}})\}$. Максимальная совместимость может быть получена как $\max\{\mu_{\theta E}, \mu_{\overline{\theta E}}\}$. Далее интервал D может быть найден, используя следующее уравнение: $\max\{\min(\mu_D, \mu_{\overline{\theta E}}), \min(\mu_{\theta E}, \mu_{\overline{D}})\} = \max\{\mu_{\theta E}, \mu_{\overline{\theta E}}\}$.

Эту модель можно продемонстрировать следующим образом. Пусть имеется правило: **если** человек – умный **то** он может выполнить задачу **если не** она не нравится ему (антипатия). То есть, модель может предположить способность какого-то человека решить задачу, основываясь на уровне его интеллекта. Если ресурсы позволяют исследовать антипатии умного человека, то можно заключить, что человек не выполнит задачу, если она ему не нравится. Иначе он с задачей справится.

Пусть в данном примере интеллектуальные способности и антипатии человека по отношению к определенным задачам представлены следующим образом:

СПОСОБНОСТИ={T_1/0.85, T_2/1.0, T_3/0.95, T_4/1.0, T_5/0.9}.

АНТИПАТИИ={T_1/0.1, T_2/1.0, T_3/0.8, T_4/0.2, T_5/0.0}.

Теперь, учитывая исключение АНТИПАТИИ и выбрав значение θ как E, можно найти более определенное значение СПОСОБНОСТИ.

Для задачи T_1 получим: max{min{0.85, 0.99}, min{0.15, 0.01}}=0.85.

Для задачи T_2 получим: max{min{1, 0}, min{0, 1}}=0.

Для задачи T_3 получим: max{min{0.95, 0.36}, min{0.05, 0.64}}=0.36.

Для задачи T_4 получим: max{min{1, 0.96}, min{0, 0.04}}=0.96.

Для задачи T_5 получим: max{min{0.9, 1}, min{0.1, 0}}=0.9.

Таким образом, мы получили более точное значение способности конкретного человека решить задачу с учетом его антипатий: СПОСОБНОСТИ $=\{T_1/0.85, T_2/0.0, T_3/0.36, T_4/0.96, T_5/0.9\}$.

Предложенная модель хорошо подходит для правил с простыми исключениями таких как: **если** человек в приятном настроении в отпуске **то** он собирается прогуляться **если не** имеется интересная телепрограмма, **если** человек не может рисковать **то** он может зарабатывать только низкую зарплату **если не** бизнес хорошо поставлен.

Возможность обработки правил с объединением исключений дает дополнительные преимущества. Объединение исключений может быть представлено сложными исключениями, управляемыми операторами И/ИЛИ: $\mu_E(x)=\min\{\mu_{E1}(x), \mu_{E2}(x)\}$, где $E=E1\cap E2$ и $\mu_E(x)=\max\{\mu_{E1}(x), \mu_{E2}(x)\}$, где $E=E1\cup E2$. После оценки сложного исключения для получения решения может использоваться общая модель.

В рассматриваемой нами модели немонотонных рассуждений для агрегирования данных предлагается использовать операции взятия минимума и максимума [1]. Использование Т-норм и S-конорм для семантических связок И и ИЛИ [2, 3] в случаях, когда нечеткие множества определяются на различных предметных шкалах (рассматриваются различные лингвистические переменные) более корректно, чем использование операций min и max. Результаты при этом незначительно отличаются от результатов, полученных для предложенной в [1] модели. Использование операций min и max остается корректным для случаев, когда агрегируются несколько исключений, определенных на одной и той же предметной шкале, или решение и исключение определены на одной предметной шкале. В рассматриваемом нами примере, как способности, так и антипатии определены по отношению к данным задачам, т.е. на одной предметной шкале, следовательно, в данном случае могут использоваться предлагаемые операции. Для случаев, когда решение и исключение в правиле имеют разную природу лучше использовать Т-нормы и S-конормы.

Например, рассмотрим правило с несколькими исключениями:

если человек в приятном настроении в отпуске **то** он собирается прогуляться
если не (имеется интересная телепрограмма
ИЛИ
(погода холодная И у человека аллергия на холод)
ИЛИ
его ждут друзья)

Здесь мы имеем случай сложного исключения, причем исключения (погода холодная И у человека аллергия на холод) определены на одной предметной шкале, а остальные исключения определены на различных предметных шкалах. Следовательно, для агрегирования исключений должны использоваться различные операции, например, для данного случая это могут быть min(x, y) и x+y-xy.

Рассмотрим этот пример более детально. Пусть правило имеет вид:

если P/1 **то** D/1 **если не** (E1/0.8 ИЛИ (E2/0.6 И E3/0.8) ИЛИ E4/0.3).

Сначала нам необходимо оценить сложное исключение. Для агрегирования исключений E2 и E3, как сказано выше, мы используем операцию min(x, y):

$$\mu_{E2\cap E3}=\min\{\mu_{E2}, \mu_{E3}\}= \min\{0.6, 0.8\}=0.6,$$

теперь у нас все исключения имеют различную природу и для агрегирования будем использовать S-конорму x+y-xy:

$$\mu_E=0.8\cup 0.6\cup 0.3=0.8+0.6+0.3-0.8*0.6-0.8*0.3-0.6*0.3+0.8*0.6*0.3=0.94.$$

Выбираем коэффициент θ равным значению функции принадлежности исключения μ_E. Тогда решение D с учетом исключений будет иметь следующее значение (для вычислений используем Т-норму x*y для связки И, S-конорму x+y-xy для связки ИЛИ):

$$(D \cap \overline{\theta E}) \cup (\theta E \cap \overline{D}) = (1 \cap 0.12) \cup (0 \cap 0.88) = 0.12+0-0=0.12.$$

Таким образом, если учесть все исключения в данном случае (наличие интересной телепередачи при холодной погоде), то правдоподобность того, что человек в хорошем настроении в отпуске отправиться на прогулку уменьшается до значения 0.12. Если придерживаться минимаксной концепции, то правдоподобность прогулки в данных условиях уменьшается до значения 0.36:

$$\mu_E = \max\{0.8, \min\{0.6, 0.8\}, 0.3\} = 0.8,$$

$$(D \cap \overline{\theta E}) \cup (\theta E \cap \overline{D}) = \max\{\min\{1, 0.36\}, \min\{0, 0.64\}\} = 0.36.$$

Еще одним достоинством применения данной модели немонотонных рассуждений является возможность использования уже имеющейся базы знаний (продукционная БЗ без исключений). Входная ситуация задается пользователем как множество (набор) фактов. При этом те из фактов, которые не входят ни в одну из посылок существующих продукционных правил, считаются исключениями, о чем и запрашивается подтверждение у пользователя. Далее система подключает алгоритм реализации немонотонного вывода вместо используемого по умолчанию (так как исключения встречаются очень редко) алгоритма монотонного вывода. Реализация немонотонного вывода осуществляется по предложенной выше схеме.

ЛИТЕРАТУРА

1. *M. Shahsi, K. Raju, and P.S.* Avadhani. Reasoning with Fuzzy Censors // IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. – 1994. – Т. 24, №7. - С. 1061-1064.
2. *Сметс Ф.* Простейшие семантические операторы // Нечеткие множества и теория возможности. Последние достижения / Под ред. Р.Р. Ягера. - М.: Радио и связь, 1986. - С. 177-186.
3. *Астанин С.В., Захаревич В.Г.* Информационно-советующие комплексы систем гибридного интеллекта. - Таганрог: изд-во ТРТУ, 1997. - 136с.