

мере его старения и функционирования во времени, последовательность этапов решения задач контроля, диагностирования и ТО, а также их взаимосвязанность для каждой конкретной ситуации [2]. Следует подчеркнуть, что важным является получение информации об объекте и ее постоянное обновление. Допустимость ошибок 1 и 2 рода при анализе более или менее сложного объекта свидетельствует о недостатке этой информации в силу ограниченности точек доступа ко всем составным частям объекта анализа, недостаточно высокого быстродействия аппаратно-программных средств анализа, трудности съема информации в диагностическом режиме по состоянию.

Библиографический список

1. Седов А.В. Моделирование объектов с распределением параметров.-М.: Наука, 2010. - 388 с.
2. Курбанмагомедов К.Д. Методы, алгоритмы и средства контроля и диагностирования дискретных устройств с разрядно-модульной организацией.- Махачкала, Издательство «Риасофт». -240 с.

УДК 519.95

Мелехин В.Б., Абдурагимов Т.Т.

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМНЫХ СРЕД И ОРГАНИЗАЦИИ ВЫВОДА РЕШЕНИЙ

Melehin V.B., Abduragimov T.T.

ILL-DEFINED DYNAMIC SEMANTIC NETWORKS FOR MODELING OF THE DYNAMIC PROBLEM-SOLVING AMBIENCES AND ORGANIZATIONS OF THE CONCLUSION OF THE DECISIONS

В работе предложена специальная модель представления знаний интеллектуальных систем в виде нечеткой динамической семантической сети, позволяющая организовать планирование целенаправленной инструментальной деятельности в динамических проблемных средах. Определены условия применения нечетких динамических семантических сетей для описания закономерностей различных проблемных сред с учетом динамики протекающих в них процессов.

***Ключевые слова:** интеллектуальная система, динамическая проблемная среда, нечеткая динамическая семантическая сеть.*

In work the special model of representation of knowledge of intellectual systems in the form of an indistinct dynamic semantic network allowing to organize planning of purposeful tool activity in dynamic problem environments is offered. Conditions of application of indistinct dynamic semantic networks for the description of regularities of various problem environments taking into account dynamics of the processes proceeding in them are defined.

Key words: *intellectual system, dynamic problem-solving ambience, ill-defined dynamic semantic network.*

Введение. Опыт показывает, что для применения интеллектуальных методов решения проблем в системах контроля и управления сложными технологическими объектами требуется построение моделей не только для отдельных статических ситуаций проблемной среды (ПС), но и моделей, учитывающих характер динамики изменения параметров процесса на протяжении всего периода функционирования. Однако статические модели представления знаний в виде нечетких семантических сетей (НСС) [1] не позволяют в полной мере эффективно выполнить описание сложных динамических процессов, характеризующихся большим количеством параметров, взаимосвязанных между собой в пространстве и времени (например, динамику поведения объектов с рассредоточенными параметрами).

Постановка задачи. Для построения информационной модели сложных динамических процессов проблемной среды (ПС) предлагается использовать нечеткие динамические семантические сети (НДСС), отличающиеся от известных моделей [2] более точным определением закономерностей изменения параметров проблемной среды.

Формально НДСС задаются нечетким мультиграфом $G = (V, E, v_0)$, где $V = \{v_{i1}\}$, $i_1 = 1, n_1$ - множество вершин, биективно соответствующих различным объектам ПС; $E = \{e_{j1}\}$, $j_1 = 1, m_1$ - множество ребер, определяемых характером взаимосвязи объектов среды в пространстве и времени; v_0 - ключевая (выбирается произвольно) вершина, относительно которой выполняется сравнение исследуемых сетей.

Объекты проблемной среды могут быть пяти видов: случайные события, параметрические события, предметы, явления и инструменты.

Случайными событиями будем называть неустойчиво повторяющиеся, а в ряде случаев, спонтанно возникающие события, предсказать появление которых в проблемной среде априори практически невозможно, но необходимо предусмотреть возможность их появления.

Параметрическими называются устойчиво повторяющиеся события, которые имеют определенные тенденции развития и их можно оценить количественно, предсказать поведение во времени, сформировав тренд их вариации (например, изменение температуры в печи обжига цемента).

Объектами называются предметы проблемной среды, которые описываются множеством характеристик, позволяющих обеспечить их идентификацию.

Явлениями называются устойчиво повторяющиеся события, которые можно наблюдать и описывать качественно, но сложно или невозможно оценивать количественно.

Инструментами называются объекты проблемной среды, которые за счет их использования позволяют расширить возможности интеллектуальной системы в процессе целенаправленной деятельности. Инструменты описываются множеством характеристик и условиями их применения. Вершины НДСС, определяющие инструменты, могут быть двух типов: пассивные и активные. Пассивные вершины определяются множеством характеристик конкретного предмета ПС, который предназначен для использования в качестве соответствующего инструмента. Активные вершины определяются множеством характеристик X_{j_0} , которыми должны обладать предметы ПС, чтобы их можно было бы использовать в качестве соответствующего инструмента.

Для представления знаний различных по функциональному назначению интеллектуальных систем, НДСС могут быть декларативными и процедурными. Динамическая семантическая сеть называется процедурной, если в ней определены причины (действия), связанные с проявлением явлений, изменением параметров и состояний объектов. В противном случае НДСС называется пассивной.

В декларативной НДСС случайные события определяются характером возможного воздействия на объект проблемной среды (ПС), а также эффективными формами противодействия этим событиям в случае их возникновения.

Параметрические события в декларативной НДСС представляются в следующем формате <<идентификатор параметра> <динамика параметра>>. Динамика каждого параметра определяется множеством пар $\langle t_{i2,f}, a_{i2,f} \rangle$, $i_2 = 1, n_2$, $f = 1, n_3$, где n_2, n_3 - соответственно, количество параметров, характеризующих ПС и количество зафиксированных изменений параметров; $t_{i2,f}$ - моменты фиксации, которые определяются датой $d_{i2,f}$ и временем $t_{i2,f}^*$ изменений параметров $a_{i2,f}$. Значения параметров $a_{i2,f}$ задаются также парами $\langle a_{i2,f}^*, R_{i2,f} \rangle$, в первой проекции которых, фиксируется измеренное значение параметра, а во второй - терм лингвистической переменной, определяющей качественное выражение соответствующего параметра.

Моменты фиксации $t_{i2,f}$ значений $a_{i2,f}^*$ параметрических событий, в зависимости от скорости протекающих в ПС процессов, выявляются двумя способами. Для проблемных сред с медленным протеканием процессов эти моменты могут совпадать по времени с выполнением условия $|a_{i2,f}^* - a_{i2,f+1}^*| \leq a_{\text{зад}}$, т.е. когда разность между зафиксированным в момент времени $t_{i2,f}$ значением параметра и текущим (замеренным) значением этого параметра превысит заданную пороговую величину $a_{\text{зад}}$.

Для ПС с быстрой скоростью протекания процессов моменты времени $t_{i2,f}$ фиксации значений $a_{i2,f}^*$ могут совпадать с изменением скорости D_a^*/D_t или знака скорости вариации параметров.

В процедурной НДСС параметрические события задаются тройками $\langle t_{i2,f}, a_{i2,f}, g_{i2,f} \rangle$, в которых дополнительные составляющие $g_{i2,f}$ определяют действия или события, вызывающие необходимые изменения параметров между соседними фиксациями.

Действия $g_{i2,f}$, если это возможно, описываются парами $\langle g_{i2,f}^*, R_{i2,g} \rangle$, в которых параметры $g_{i2,f}$ и $R_{i2,g}$ - соответственно, количественная и качественная оценки действия с помощью соответствующего термина ЛП. При этом, различные значения параметрических событий удобно задавать пятерками $\langle \langle t_{i2,f}, a_{i2,f}^*, g_{i2,f}^* \rangle, \langle R_{i2,f}, R_{i2,g} \rangle \rangle$, а динамику параметров на заданном интервале времени можно представить в виде функциональных зависимостей $a_{i2}(t) = f_1(g_{i2}(t))$ и $R_{i2}(t) = f_2(R_{i2,g}(t))$, или в форме соответствующих этим функциям таблиц.

Предметы o_{i4} , $i_4=1,n$ в декларативной НДСС определяются множествами X_{i4} характеристик, которыми должны обладать объекты ПС для пометки предметных вершин их именами в процессе принятия решений. После выполнения такой пометки соответствующие вершины НДСС характеризуются множеством пар $\langle t_{i5}, o_{i5} \rangle$, $i_5=1,n$, где o_{i5} - i_5 состояние соответствующего объекта; t_{i5} - время фиксации o_{i5} состояния объекта.

В процедурной НДСС вершины помеченные объектами характеризуются тройками $\langle t_{i4}, o_{i4}, g_{i4} \rangle$, в которых дополнительные составляющие g_{i4} определяются действиями, позволяющими выполнять преобразования объектов от состояния к состоянию.

Явления b_{i6} , $i_6=1,n_0$ в декларативной НДСС описываются множествами качественных характеристик X_{i6} и моментами времени их появления $t_{пi6}$ и исчезновения $t_{иi6}$.

Вершины, помеченные явлениями в процедурной семантической сети, задаются парами $\langle X_{i6}, g_{i6} \rangle$, в которых составляющие g_{i6} определяются причинами, вызывающими явления b_{i6} .

Отношения между вершинами в НДСС выражаются парами $\langle p'_{i7}, P''_{i7} \rangle$, в которых первую проекцию определяет количественное значение (если оно возможно) отношения P_{i7} , а вторую - качественное значение этого отношения, например, $\langle 5 \text{ км}, \langle \text{близкое расстояние} \rangle \rangle$.

Методы исследования. Одной из основных операций, выполняемых над НДСС в процессе принятия решений в ситуационных системах управления является сравнение их между собой.

В зависимости от характера решаемой задачи сравнение НДСС может выполняться на признак равенства с заданной точностью ε_0 (характерно для систем управления различными технологическими объектами), нечеткого равенства и аналогии динамики параметров сетей (используется в системах контроля и ситуационного управления).

1. Две произвольные НДСС $G_1 = (V_1, E_1, v_{01})$ и $G_2 = (V_2, E_2, v_{02})$ являются равными (с заданной точностью), если для них выполняются следующие условия:

1.1. Сети G_1 и G_2 структурно эквивалентны с точностью до одинаковых по содержанию пометок ключевых вершин v_{01} и v_{02} ;

1.2. Для каждой пары вершин $\langle v_{i1,1}, v_{i1,2} \rangle$, занимающих в G_1 и G_2 одинаковые позиции и помеченных параметрическими событиями, выполняются следующие соотношения:

а) обе вершины имеют равное число фиксаций соответствующего им параметра, т.е. $n_{3,1} = n_{3,2}$.

б) $(|a_{1,f} - a_{2,f}| < \varepsilon_0) \& (R_{1,f} = R_{2,f})$, $f=1, n_3$,

т.е. равенство с заданной точностью соответствующих значений параметров для одинаковых по номеру фиксаций f (такое сравнение характерно для декларативных сетей);

$$(|a_1^*(t) - a_2^*(t)| < \varepsilon) \& (R_1(t) = R_2(t)),$$

т.е. равенство с заданной точностью соответствующих значений параметров для одинаковых моментов времени (такое сравнение характерно для процедурных сетей).

в) для декларативных сетей должно также проверяться следующее условие $|t_{1,f} - t_{2,f}| < t_{\text{зад}}$, $f = 1, n_3$, т.е. равенство с заданной точностью $t_{\text{зад}}$ моментов времени одинаковых по номеру фиксаций.

1.3. Для каждой пары вершин $\langle v_{i1,1}, v_{i1,2} \rangle$, занимающих одинаковые позиции соответственно в сетях G_1 и G_2 и помеченных явлениями, выполняются условия:

а) вершины одинаково помечены, т.е. $X_{i6,1} = X_{i6,2}$;

б) совпадают с заданной точностью $t_{\text{зад}}$ моменты времени проявления событий $\langle t_{n1}, t_{n1} \rangle$ и $\langle t_{n2}, t_{n2} \rangle$;

в) у обеих сетей совпадают количества фиксаций проявления событий.

1.4. Для каждой пары вершин $\langle v_{i1,1}, v_{i1,2} \rangle$, занимающих одинаковые позиции соответственно в G_1 и G_2 и помеченных объектами, выполняются условия:

а) вершины одинаково определены, т.е. $X_{i4,1} = X_{i4,2}$ или одинаково помечены;

б) если вершины одинаково помечены, то для каждой пары $\langle t_{i5,1}, o_{i5,1} \rangle$ биективно соответствует пара $\langle t_{i5,2}, o_{i5,2} \rangle$, или другими словами выполняется условие

$$(|t_{i5,1} - t_{i5,2}| < t_{\text{зад}}) \& (o_{i5,1} = o_{i5,2})$$

1.5. Биективно соответствующие пары ребер $\langle e_{j,1}, e_{j,2} \rangle$ одинаково помечены, т.е.

$$(|P'_{i7,1} - P'_{i7,2}| < P_{\text{зад}}) \& (P''_{i7,1} = P''_{i7,2})$$

Сравнение декларативных семантических сетей между собой (т.е., когда эталонная НДСС и НДСС, сформированная на основе текущих значений параметров процесса, являются динамическими), характерное для систем

контроля, позволяет выявить параметры, по которым наблюдается недопустимое отклонение от технологических норм, требующее вмешательства оператора.

Сравнение декларативной сети, определяющей протекающий в ПС процесс с эталонной процедурной НДСС позволяет выявить не только недопустимые отклонения параметров от заданных значений, но и автоматически определить характер и величину управления, позволяющего вернуть процесс к необходимому нормальному течению.

2. Две произвольные НДСС G_1 и G_2 нечетко равны, если для них выполняются следующие условия.

2.1. Сети G_1 и G_2 структурно эквивалентны.

2.2. Для каждой пары $\langle v_{i1,1}, v_{i1,2} \rangle$ биективно соответствующих вершин, помеченных параметрами, выполняются условия:

а) обе вершины имеют одинаковое число фиксаций параметра;

б) при сравнении декларативных сетей $R_{1,f} = R_{2,f}$ для одинаковых по номеру фиксаций;

в) при сравнении процедурных сетей $R_1(t) = R_2(t)$ для одинаковых моментов времени.

2.3. Для каждой пары биективно соответствующих вершин $\langle v_{i1,1}, v_{i1,2} \rangle$, помеченных явлениями, выполняются условия:

а) вершины одинаково определены, т.е. $X_{i4,1} = X_{i4,2}$;

б) количество зафиксированных на заданном промежутке времени явлений в G_1 и G_2 совпадает.

2.4. Для каждой пары биективно соответствующих вершин $\langle v_{i1,1}, v_{i1,2} \rangle$, помеченных объектами, выполняются следующие условия:

а) вершины одинаково определены, т.е. $X_{i4,1} = X_{i4,2}$;

б) если вершины одинаково помечены, то для каждой пары $\langle t_{i5,1}, o_{i5,1} \rangle$ сети G_1 и биективно соответствующей ей пары $\langle t_{i5,2}, o_{i5,2} \rangle$ сети G_2 , значения величин $t_{i5,1}$ и $t_{i5,2}$ попадают в один и тот же интервал численных значений $T_{j2}, j_2 = 1, m_2$, качественно характеризующий время изменения состояний объектов.

2.5. Значения биективно соответствующих пар ребер $\langle e_{j1,1}, e_{j1,2} \rangle$ равны качественно, т.е. $P''_{i7,1} = P''_{i7,2}$.

Качественное (нечеткое) сравнение НДСС применяется в том случае, если для управления процессом не требуется высокой точности, т.е. значения параметров могут лежать в заданных пределах. В этом случае бывает достаточно определить характер требуемого воздействия на процесс и качественное его значение, позволяющее при необходимости выявить более точное количественное воздействие.

3. Две произвольных сети G_1 и G_2 аналогичны друг другу, если для них выполняются следующие условия.

3.1. Сети G_1 и G_2 структурно эквивалентны с точностью до пометки ключевых вершин v_{o1} и v_{o2} .

Следует отметить, что вершины v_{o1} и v_{o2} могут выбираться произвольно исходя из условия их пометки аналогичными объектами. Для этого вначале в G_1 фиксируется вершина v_{o1} , а в G_2 определяется вершина v_{o2} , которая имеет пометку $X_{i4,2}$, обладающую максимальной степенью аналогичности с пометкой $X_{i4,1}$ вершины v_{o1} .

Используя вершины v_{o1} и v_{o2} как ключевые для сравнения исследуемых сетей, устанавливается факт изоморфизма помеченных графов G_1 и G_2 .

При этом степень аналогичности пометок должна удовлетворять следующим основным эвристическим требованиям.

1. Для абсолютно различных пометок степень аналогичности должна равняться нулю.

2. Для одинаковых пометок степень аналогичности должна равняться единице.

3. Для похожих друг на друга пометок степень аналогичности должна быть пропорциональной отношению числа одинаковых для обоих объектов характеристик к общему числу характеристик, описывающих эти объекты.

Утверждение. Перечисленным во всех подпунктах пп. 1-3 требованиям удовлетворяет степень аналогичности $r(v_{o1}, v_{o2})$ пометок вершин, вычисляемая на основании следующего выражения:

$$r(v_{o1}, v_{o2}) = \frac{2 | X_{i4,1} \cap X_{i4,2} |}{| X_{i4,1} | + | X_{i4,2} |} \quad (1)$$

где $| X_{i4,1} |$ -мощность множества $X_{i4,1}$.

Доказательство. 1. Для абсолютно различных объектов выполняется условие: $X_{i4,1} \cap X_{i4,2} = \emptyset$, следовательно, $| X_{i4,1} \cap X_{i4,2} | = 0$. Отсюда, для абсолютно различных объектов величина степени аналогичности, вычисляемая по (1), будет равной нулю.

2. Для абсолютно одинаковых объектов $X_{i4,1} \cap X_{i4,2} = X_{i4,1} = X_{i4,2}$, следовательно, $| X_{i4,1} \cup X_{i4,2} | = (| X_{i4,1} | + | X_{i4,2} |) / 2$. Отсюда, для абсолютно одинаковых объектов степень аналогичности, вычисляемая по (1) будет равной единице.

3. Для всех промежуточных случаев величина степени аналогичности лежит в пределах $[0, 1]$. При этом она пропорциональна количеству общих для сравниваемых объектов характеристик и обратно пропорциональна числу характеристик, описывающих эти объекты. Следовательно, утверждение доказано.

3.1. При сравнении декларативных сетей: для каждой пары биективно соответствующих вершин $\langle v_{i1,1}, v_{i1,2} \rangle$ помеченных параметрическими событиями, на определенных интервалах времени наблюдается корреляционная зависимость между значениями пометок $a_{1,f}$ и $a_{2,f}$, $f=1, n_3$ с коэффициентом корреляции K_v не меньшим заданного порога H_v .

3.2. При сравнении процедурных НДСС: структурно эквивалентные вершины являются аналогичными, если они попарно помечены одинаковыми функциональными зависимостями $\langle a_1(t) = f_{11}(g_1(t)); a_2(t) = f_{12}(g_2(t)) \rangle$ и $\langle R_1(t) = f_{21}(R_{1g}(t)); R_2(t) = f_{22}(R_{3g}(t)) \rangle$.

3.3. Для каждой пары биективно соответствующих вершин $\langle v_{i1,1}; v_{i1,2} \rangle$, определяемых явлениями, степень аналогичности пометок $\langle v_{i1,1}; v_{i1,2} \rangle$, вычисляемая по формуле (1) больше заданного порогового значения r_0 (обычно $r_0 > 0,5$).

3.4 Для каждой пары биективно соответствующих вершин $\langle v_{i1,1}; v_{i1,2} \rangle$ и определяемых предметами степень аналогичности пометок $r(v_{i1,1}, v_{i1,2})$, вычисляемая по формуле (1) больше заданного порогового значения r_0 .

3.5 Для каждой пары биективно соответствующих ребер $\langle e_{j1,1}, e_{j1,2} \rangle$ степень их аналогичности $r(e_{j1,1}, e_{j1,2})$ больше заданного порогового значения r^*_0 .

Утверждение доказано.

Величина степени аналогичности пометок ребер вычисляется следующим образом:

$$r(e_{j1,1}, e_{j2,2}) = (P_{i7,1}/P^*_{j3} \leftrightarrow P_{i7,2}/P^*_{j3}), \quad (2)$$

где P^*_{j3} - верхняя граница интервала численных значений качественного выражения сравниваемых выражений; \leftrightarrow - операция эквивалентности приведенных значений отношений, которая берется как нечеткая эквивалентность по [3] при следующих значениях параметров: на некотором интервале времени, т.е. определение вложенного равенства; вложенного нечеткого равенства и вложенной аналогичности семантических сетей. Вложенное сравнение сети G_1 с сетью G_2 осуществляется следующим образом.

Вначале в сети G_1 выделяется исходный временной срез $G_{1,1}$, т.е. срез значений пометок вершин и ребер, зафиксированных в начальный момент $f=1$. Затем выбираются базовые вершины v'_{01} в $G_{1,1}$ и v'_{02} в $G_{2,i}$ (одинаково помеченные вершины), относительно которых определяется структурная эквивалентность срезов $G_{1,1}$ и $G_{2,k}$, где $G_{2,k}$ - временной срез сети G_2 , у которого имеется вершина v'_{01} , одинаково помеченная с вершиной v'_{01} .

После установки структурной эквивалентности сетей G_1 и G_2 по срезам $G_{1,1}$ и $G_{2,k}$, дальнейшее сравнение сетей осуществляется путем сравнения между собой биективно соответствующих временных срезов $G_{1,j}$ и $G_{2,k}$, $k=1, m$ согласно вышеописанным условиям определения равенства с заданной точностью, нечеткого равенства и аналогичности пометок их вершин и ребер.

Другим практически важным способом идентификации сетей является их сравнение без учета интервалов времени фиксации выполняемых замеров, т.е. сравнение по характеру течения процесса и по содержанию пометок биективно соответствующих временных срезов. В этом случае при идентификации сетей G_1 и G_2 опускаются пункты, связанные с сравнением между собой моментов времени фиксации срезов. В остальном равенство, нечеткое равенство и аналогия сетей устанавливаются вышеописанным способом.

Вывод. Предложенная модель представления знаний позволяет сформировать типовые фрейм микропрограммы поведения интеллектуальных си-

стем, используемые для планирования сложной инструментальной деятельности.

Библиографический список

1. Берштейн Л.С., Мелехин В.Б., Структура процедурного представления знаний интегрального робота. 1. Расплывчатые семантические сети// Изв. АН СССР. Технич. кибернетика. 1988. №6. -С. 119-124.
2. Берштейн Л.С., Мелехин В.Б. Нечеткие динамические семантические сети для представления знаний интеллектуальных систем // Автоматика и телемеханика. 2000. №3. -С.107-110.
3. Мелехин В.Б., Алиев С.Н., Вердиев М.М. Лингвистические функции и особенности их применения в системах управления и принятия решений Научно-технические ведомости СПб ГПУ. Основной выпуск. 2008. №2. -С. 249-254.