диаметр центровых гнезд, геометрические параметры режущего инструмента (r, λ, φ), сечение державки, вылет резца и материал его режущей части, время работы станка, жесткость систем "передняя бабка - резец" и "задняя бабка - резец", точность лимба поперечной подачи станка, точность инструмента для настройки станка, а также ряд других.

Система уверенно решает задачу анализа точности при столь широком спектре данных. Представляется, что описанный подход может быть плодотворным и для решения других технологических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. – М.: Мир, 1989. – 388 с. 2. Эндрю А. Искусственный интеллект. – М.: Мир, 1985. – 264 с. 3. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. – М.: Мир, 1992. – 240 с. 4. Искусственный интеллект: В 3-х кн. Кн.2. Модели и методы / Под. ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.

УДК 004.891.3

В.М. Пашкевич

ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Эвристические методы широко используются при решении сложных задач математического программирования большой размерности. В основном в эвристических моделях используются логика и здравый смысл, накопленный на основе личного или коллективного опыта. Преимущество эвристических методов – простота численной реализации, недостаток – приближенность решения. Использование эвристического поиска особенно перспективно в том случае, если не существует точного решения задачи или этому не соответствуют ограниченные ресурсы ЭВМ (память, быстродействие), а также если используются нечеткие числовые данные [1, 2]. Несмотря на относительную разработанность данного вопроса, методы эвристического поиска не нашли должного применения для решения задач технической диагностики. Представленный материал отражает опыт, накопленный в этой области.

Примером использования эвристических метаправил является экспертная диагностическая система планетарных механизмов, исследующая их кинематическую погрешность. База знаний системы сформирована на основе математических моделей, связывающих величины первичных погрешностей S_i деталей механизма и спектральных составляющих кинематической погрешности с амплитудами A_i и фазами φ_i. Эта зависимость в наиболее простых случаях имеет вид (1):

$$\begin{cases} A_1 \cos(1\omega t+\varphi_1)=\sum_{i=1}^{n}\left[k_{1i}S_i+C_{1i}\right]\cos(1\omega t+\varphi_{1i}) \\ A_2 \cos(2\omega t+\varphi_2)=\sum_{i=1}^{n}\left[k_{2i}S_i+C_{2i}\right]\cos(2\omega t+\varphi_{2i}) \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ A_m \cos(m\omega t+\varphi_m)=\sum_{i=1}^{n}\left[k_{mi}S_i+C_{mi}\right]\cos(m\omega t+\varphi_{mi}), \end{cases} \tag{1}$$

где k_{1i} и C_{1i} – некоторые коэффициенты, предсказанные моделью; φ_{1i} – фазы составляющих , A_i - амплитуды составляющих, вносимых j-й первичной погрешностью. При этом на образование одной и той же гармонической составляющей $A_n \cos(n\omega t + \varphi_n)$ кинематической погрешности в ряде случаев оказывают влияние сразу несколько первичных погрешностей. В общем случае невозможно по значениям гармонических составляющих найти значения сопряженных с ними величин элементарных погрешностей. В то же время существует возможность приближенного решения этой задачи с использованием методов эвристического поиска. Так, для каждого уравнения системы (1) может быть построена область решений U (рис. 1), с границей G(U). Для простоты на рисунке иллюстрируется процедура нахождения пары значений A_{1k}, A_{2k}, соответствующих экспериментально полученному значению комплексной погрешности A_k.

Наиболее важным и очевидным представляется переход от непрерывного описания области U к ее дискретному представлению в виде узлов пространственной решетки W(U).

Дискретизация области U позволяет решать задачу путем обхода узлов пространственной решетки и вычисления в каждом из узлов невязки условий (1). При этом для решения диагностической задачи выгодно использовать следующие логические соображения (метаправила).

1) Правило необратимости. Физические первичные погрешности (зазоры, степень износа детали) в процессе наработки могут только увеличивать свои значения. Правило может быть записано в символической форме как

$$S_k(t_2) \geq S_k(t_1) \Leftrightarrow t_2 \geq t_1 . \tag{2}$$

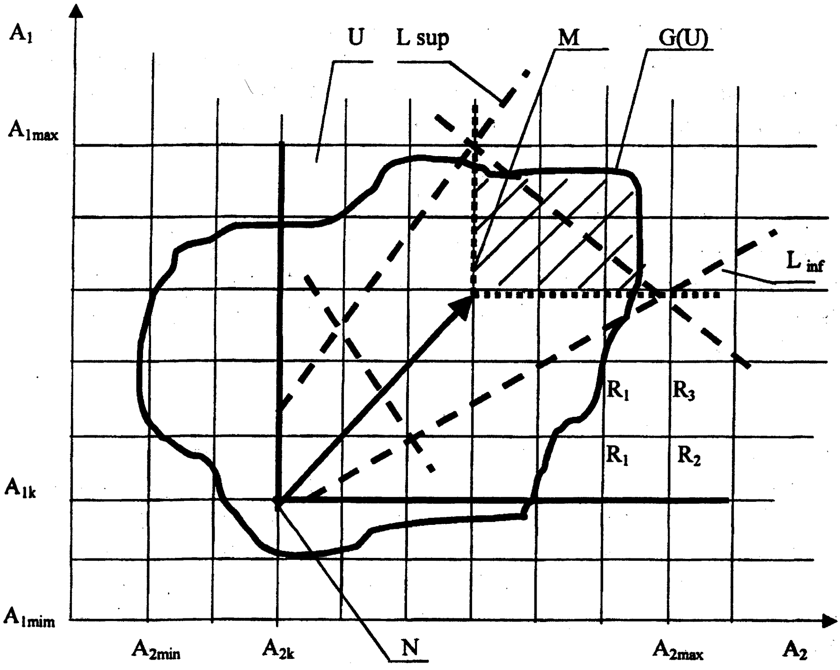

Рис.1. К определению эвристических правил

Благодаря этому правилу можно производить эффективное отсечение области решения, учитывающее предысторию эволюции объекта (начальные значения его параметров). Так, на рис. 1 начальная точка N, соответствующая величинам A_{1k} и A_{2k} (первичным погрешностям S_1 и S_2), ограничивает двумя ортогональными, проходящими через нее полуплоскостями (верхней и правой), область допустимых значений, которые могут принять величины A_{1k} и A_{2k} в процессе наработки. Если в процессе эволюции механизм достиг состояния, соответствующего точке М (траектория эволюции показана стрелкой), то область допустимых значений сократится в еще большей мере (на рис. 1 она выделена штриховкой).

2) Правило системности изменений. Как правило, для объектов любой степени сложности существует некоторый системный (эмерджентный) признак, отличающий этот объект от простой суммы его элементов. В этой же связи эволюция состояний элементов также происходит совместно, комплексно, а эти состояния коррелируют между собой. На основе базы данных, составленной по результатам наблюдений за

объектами, могут быть построены корреляционные модели, ограничивающие предельные изменения состояний объекта. Предельные уровни изменения состояний L_{inf} (нижний) и L_{sup} (верхний) таким образом задают статистическую траекторию (коридор) эволюции объекта, дополнительно сужающий область поиска:

$$Si \in [\, L_{inf}(S_j)];\ [L_{sup}(S_j)]. \qquad (3)$$

3) Правило тренда (эволюции). В процессе эволюции состояние объекта всегда находится в коридоре (6), вне зависимости от времени эксплуатации объекта. Кроме того, при нормальных режимах эксплуатации объекта его состояние $S_i(t)$ в зоне нормального износа деталей может описываться временной моделью эволюции объекта (трендом)

$$S_i(t) = S_i(0) + S_i(t) \pm \Delta S_i(t), \qquad (4)$$

где $S_i(0)$ – начальное состояние объекта в момент времени $t = 0$; $S_i(t)$ – модель изменения состояния объекта во времени; $\pm \Delta S_i(t)$ – доверительный интервал изменений состояния объекта («шум объекта). На рис.1 линии, ограничивающие область G(U), согласно уравнениям (3) и (4), показаны пунктирной линией.

4) Правило предельных случаев (правило самообучения системы). Если в результате поиска полученное решение R находится близко к границе области U или L_{inf}, L_{sup}, то следует проверить ближайшие значения (R_1, R_2, R_3, R_4) за пределами области поиска (рис. 1). Возможно, что существующая модель, ограничивающая эту область, не является адекватной в граничных областях. Как и правила 2, 3, правило 4 требует взаимодействия с базой данных. В символической форме правило может быть записано в виде

$$\begin{gathered} \lim\ (S_k - \bar{S}_k) \to 0 \\ S_k \in U; \bar{S}_k \notin U\,, \end{gathered} \qquad (5)$$

где S_k – решение, полученное в области U; $\bar{S}_k$ - решение, полученное за пределами области U. Правило также позволяет учесть внезапное появление опасных дефектов и их катастрофическое развитие, которое может не соответствовать прогнозным значениям, предсказываемым правилом 3. Таким образом, правилом устанавливается определенный баланс между прогнозными и предельными уровнями изменения состояний объекта.

5) Правило компактности. Объекты, имеющие одноименные состояния, занимают близлежащие области метрического пространства признаков. В этом случае они могут быть объединены в компактные области (кластеры), являющиеся эталонами состояний. Для кластеров S^0 выполняется условие

$$\frac{1}{2}\sum_{i\neq j}\left|S_i - S_j\right| \to \min \Leftrightarrow S_i \in S^0, S_j \in S^0. \qquad (6)$$

Процедура диагностики в этом случае значительно упрощается, так как различные точки *W(U)* могут быть отнесены к одному и тому же классу состояний объекта, что уменьшает влияние ошибок вычислений в области U на точность решения. Это правило особенно ценно, так как в результате обхода пространственной решетки может быть получено сразу несколько решений, удовлетворяющих условию (1). Оценкой решения в этом случае может быть как центр тяжести полученных решений (если точки находятся достаточно близко), так и то состояние, в кластер которого S^0 попало наибольшее количество точек.

6) Правило наибольшего правдоподобия. Это правило трудно сформулировать математически и поэтому оно в наибольшей степени эвристично. Смысл его заключается в том, что полученное решение должно в наибольшей мере соответствовать здравому смыслу. Так, например, для векторного сложения двух колебаний A_k справедливо правило треугольника

$$\begin{gathered} A_k \le A_{1k} A_{2k}; \\ A_k \ge A_{1k}, \quad A_k \ge + A_{2k}. \end{gathered} \qquad (7)$$

Правдоподобными могут быть только те значения A_{1k} и A_{2k}, найденные в процессе поиска, которые удовлетворяют условию (7). С другой стороны, правдоподобными не могут быть решения, которые формально соответствуют требованиями исследователя, но дают слишком большую погрешность (невязку) $\Delta S_k >> \varepsilon$.

Дальнейший поиск решения ведется путем просмотра вершин области определения задачи и вычисления невязки модели и экспериментальных данных для каждой точки этой области. При этом в качестве претендентов на решение фиксируются те точки, для которых выполняется условие минимизации невязок:

$$\Delta_k = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \Delta_{ki}^{2}} \le \varepsilon, \qquad (9)$$

где Δ_k – невязка модели в точке k; Δ_{ki} – невязки уравнений модели в точке k; ε - порог принятия претендента. Так как точек-претендентов в общем случае может быть достаточно много, для определения единственного решения следует ввести штрафную оценочную функцию

$$\pi_k = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i \pi_{ki}, \qquad (10)$$

где π_k – штраф для k-й точки за несоответствие системе эвристических правил; π_{ki} – штраф по i-му правилу; α_i – весовой коэффициент, определяющий степень «важности» каждого из правил системы. Для нормированной системы коэффициентов можно ввести дополнительное условие

$$\sum_{i=1}^{m} \alpha_i = 1. \tag{11}$$

Величина штрафа π_{ki} зависит от сущности правил и может принимать как дискретные значения (0 или 1), так и непрерывные (от 0 до 1). Так, по правилу необратимости штраф является дискретной функцией (налагается при несоответствии требованию и отсутствует, если правило удовлетворяется). Для других правил штраф может монотонно увеличиваться при удалении от некоторой границы $X_{гр}$

$$\pi_i = \frac{X_i - X_{гр}}{X_{max} - X_{min}}, \tag{12}$$

где X_{min}, X_{max} - границы изменения параметра X. Таким образом, решением задачи является точка факторного пространства, обеспечивающая удовлетворительную невязку уравнений модели Δ_k и имеющая минимальное значение штрафной оценочной функции π_k среди остальных точек. Алгоритм легко реализуется с помощью вычислительных средств.

Использование описанных управляющих процедур позволяет строить системы искусственного интеллекта для диагностики сложных технических объектов. Набор представленных метаправил далеко не полон и может пополняться другими аналогичными конструкциями, базирующимися на априорных сведениях о конкретном объекте и базе данных, включающей наблюдения за объектом в процессе его эксплуатации. Данные правила позволяют существенно упростить процедуру диагноза при одновременном сохранении достаточной точности полученного решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов Е.И. Решатели интеллектуальных задач. – М.: Наука, 1982. – 320 с. 2. Змитрович А.И. Интеллектуальные информационные системы. – Мн.: НТООО «ТетраСистемс», 1997. – 368 с.

УДК 681.322 +519.28

Е.В. Полынкова, А.А. Примако

НЕЙРОСЕТЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ОБОНЯНИЯ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Применение нейросетевых технологий в рамках различного рода сенсорных систем как средства интеллектуализации сенсоров и преобразования информации является весьма актуальным. Широкое применение находят сенсорные