

наилучшему (наихудшему) объекту в метрическом пространстве мультимножеств на основе нечеткой кластеризации. Применение генетического алгоритма позволит значительно сократить время поиска оптимального нечеткого разбиения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демидова Л.А., Кираковский В.В., Пылькин А.Н. Алгоритмы и системы нечеткого вывода при решении задач диагностики городских инженерных коммуникаций в среде MATLAB. – М.: Радио и связь, Горячая линия – Телеком, 2005. – 365 с.
2. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С.172-215.
3. Петровский А.Б. Многокритериальное принятие решений по противоречивым данным: подход теории мультимножеств // Информационные технологии и вычислительные системы. 2004. №2. С. 56-66.
4. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.: ил.
5. Xei X.L., Beni G.A. Validity Measure for Fuzzy Clustering // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence 3 (8). – 1991. – P. 841–846.

А.Ю. Молчанов

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ С НЕЧЕТКИМИ СТРАТЕГИЯМИ

Задачи поиска оптимальных режимов работы энергетического оборудования, оптимизации режимных испытаний являются актуальными, так как решение этих задач повышает экономичность использования энергоресурсов и дает значительный экономический и экологический эффект [1]. Рассматриваемые задачи оптимизации являются многокритериальными и многомерными в общем случае и должны решаться в условиях неполноты сведений об объекте. Это требует модификации существующих подходов к построению систем автоматической оптимизации (САО), целью функционирования которых является поиск величин управляющих воздействий, при которых достигается экстремум показателя качества системы [2].

Поиск оптимальных величин входных воздействий можно представить как совокупность этапов, направленных на разрешение неопределенности относительно эффективности функционирования объекта управления (ОУ) и выбор управляющих решений: [3]

Этап 1. Процесс получения достоверной информации;

Этап 2. Выбор оптимального управления для достижения цели поиска.

Поисковой стратегией САО назовем совокупность правил выбора управляющих решений для каждой ситуации функционирования САО. Эффективность поисковой стратегии оценивается набором критериев, включающим критерии точности (среднего отклонения), быстродействия (время поиска) [2,4].

Процедура получения информации должна обеспечивать помехоустойчивость системы, т.е. снижение частоты ложных срабатываний; быстродействие системы, т.е. время реакции на изменение состояния; компенсацию переходных процессов в ОУ, при наименьшем возможном воздействии на ход нормального

функционирования ОУ. На этом этапе возникает задача выбора из множества допустимых алгоритмов получения информации с различными характеристиками.

Стратегия поиска в САО определяет направление и амплитуду серии поисковых воздействий на ОУ в зависимости от результата влияния предшествующих поисковых воздействий на состояние ОУ с целью достижения экстремального значения характеристики за минимально возможное время при наличии технологических ограничений.

Существующие стратегии поиска экстремума можно классифицировать на детерминированные, случайные и нечеткие.

Детерминированные стратегии поиска однозначно связывают предшествующее состояние ОУ и последующее воздействие на ОУ, используются при минимальной априорной информации или высоком уровне помех.

Случайные стратегии поиска предполагают выработку случайных воздействий на ОУ по определенным алгоритмам с целью достижения экстремума. Областью применения случайных поисковых стратегий являются ОУ с характеристикой сложной формы, имеющей локальные экстремумы.

Нечеткие стратегии поиска представляют собой нечеткие алгоритмы или правила выбора поисковых воздействий, в которых учитывается специфика знания ОУ: законов динамики, случайных возмущений и т.п. Нечеткие стратегии отличаются многовариантностью выбора управляющих решений, применяются в условиях нечеткости исходной информации с возможностью последующего ее уточнения. Особенностью нечеткого подхода является возможность описания различных стратегий поиска единообразным способом и возможность смены поисковой стратегии путем изменения настройки системы управления без ее перепроектирования.

Рассмотрим определение нечеткой поисковой стратегии. Правило выбора управляющего воздействия в поисковой системе может быть определено в общем виде как

$$x_{k+1} = F(u^k, x^k),$$

где u^k – предыстория управляющих решений, x^k – предыстория управляющих воздействий. Нечеткое правило управления [5] может быть задано как нечеткое множество правил управления

$$\tilde{F} = \{ \mu_F(F(u^k, x^k)) / F(u^k, x^k) \} \quad (1)$$

с функцией принадлежности $\mu_F(F(u^k, x^k))$, определенной на базовом множестве правил $\{F(u^k, x^k)\}$. Нечеткой поисковой стратегией называется тройка

$$\tilde{U}_F = (U, \tilde{F}, X), \quad (2)$$

где \tilde{F} – определенное выше нечеткое правило. Правило F представляет собой элементарную стратегию поиска.

Примерами элементарных стратегий являются: поиск с постоянным шагом, с адаптивным шагом, с экстраполяцией, стохастическая аппроксимация, случайный поиск, эвристические стратегии [5].

Выбор стратегии поиска связан с идентификацией ситуации функционирования САО. Ситуация функционирования s задается как набор параметров: $s \in S = \langle s_1, s_2, \dots, s_s \rangle$, определяющих положение рабочей точки

относительно экстремума, свойства экстремальной характеристики, характер и интенсивность дрейфа характеристики.

Информация о ситуации функционирования САО может быть доступна как совокупность свойств и оценок: $\gamma = \langle \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_p \rangle \in \Gamma = \Gamma_1 \times \Gamma_2 \times \dots \times \Gamma_p$, Γ_i – область определения параметра i .

Механизм адаптации САО обеспечивается наличием идентифицируемой модели характеристики. Модель экстремальной характеристики определяется вектором параметров $b = \langle b_1, b_2, \dots, b_r \rangle$, $b \in B$. Параметры b могут быть идентифицированы в процессе работы системы. Представление вектора b нечеткими интервалами [6] позволяет учесть неопределенность, неполноту информации о коэффициентах модели и определить область возможных значений коэффициентов.

Текущая ситуация поиска s определяется через параметры Γ с учетом параметров характеристики B . Модель идентификации текущей ситуации можно задать нечетким соответствием

$$(\Gamma \times B, \tilde{\varphi}_S, S). \quad (3)$$

Алгоритм САО характеризуется набором параметров $\theta = \langle \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q \rangle$, $\theta \in \Theta$. Между параметрами характеристики b и параметрами алгоритма θ , определяющими эффективность его функционирования с учетом возможной ситуации s , существует связь, причем параметры θ_i имеют разную степень зависимости от параметров b и текущей ситуации s .

Нечеткой ситуацией [7] называется нечеткое множество второго уровня, задаваемое в следующем виде:

$$\tilde{S} = \{ \langle \mu_s(s_k) / s_k \rangle \}, k = \overline{1, 4}, \quad (4)$$

$$\mu_s(s_k) = \{ \langle \mu_{\mu_s(s_k)}(s_k^j) / s_k^j \rangle \}, k = \overline{1, 4}, j = \overline{1, m_k}.$$

Лингвистическая переменная (ЛП) [8] характеризуется набором $\langle s_k, T(s_k), U, G, M \rangle$, $k = \overline{1, 4}$, где s_k – название переменной; $T(s_k)$ – терм-множество ЛП s_k ; U – область определения каждого элемента множества $T(s_k)$, G – синтаксическое правило (грамматика), порождающее нечеткие переменные $s_k^j \in T(s_k)$; M – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной $s_k^j \in T(s_k)$ нечеткое множество $\tilde{C}(s_k^j)$ – смысл нечеткой переменной s_k^j . Нечеткие переменные $s_k^j \in T(s_k)$ задаются тройкой множеств $\langle s_k^j, U, \tilde{C}(s_k^j) \rangle$, $j = \overline{1, m_k}$, где s_k^j – наименование нечеткой переменной; U – базовое множество; $\tilde{C}(s_k^j) = \{ \langle \mu_{\tilde{C}(s_k^j)}(u) / u \rangle \}$, $u \in U$ – нечеткое подмножество множества

U ; $\mu_{\tilde{C}(s_k^j)}(u)$ - функции принадлежности, задание которых производится экспертами.

Экспертами задаются эталонные (характерные) ситуации \tilde{S}^{*v} , $v = \overline{1, r}$. Каждой ситуации \tilde{S}^{*v} сопоставляется правило выбора параметров $\tilde{\theta}_v = \tilde{X}_{\theta}^v(\theta, b)$ и стратегия \tilde{U}_F^v . Таким образом реализуется нечеткий поисковый алгоритм.

Текущая ситуация поиска \tilde{S} определяется согласно соответствию (3) по текущим значениям Γ с учетом текущих оценок параметров B . При этом (3) принимает вид

$$(\Gamma \times B, \tilde{\varphi}_S, T(s_1) \times T(s_2) \times T(s_3)).$$

Если оценка текущего значения параметра ситуации s_k представляет собой нечеткое множество \tilde{s}_k с функцией принадлежности $\mu_{\tilde{s}_k}(u)$, то $\mu_{\mu_s(s_k)}(s_k^j) = \min_u (\mu_{\tilde{C}(s_k^j)}(u), \mu_{\tilde{s}_k}(u))$, $u \in U$. Возможно также непосредственное задание соответствия на основе формализации экспертных знаний.

Различные оценки приводят к множеству частичных оценок ситуации $\tilde{S}^{(v)}$. Текущая ситуация определяется как объединение частичных оценок $\tilde{S} = \bigcup_v \tilde{S}^{(v)}$.

Выбор эталонной ситуации \tilde{S}^{*i} , которой наибольшим образом соответствует текущая ситуация \tilde{S} , осуществляется путем вычисления степени нечеткого равенства ситуаций $\mu(\tilde{S}, \tilde{S}^{*i})$, $i = \overline{1, r}$ [7]. Ситуация \tilde{S} нечетко равна ситуации \tilde{S}^{*i} , если $\mu(\tilde{S}, \tilde{S}^{*i}) \geq t$, t – порог равенства ситуаций. Если текущей ситуации соответствует несколько эталонных ситуаций, то может быть использован метод назначения предпочтений. Каждому возможному решению присваивается коэффициент предпочтения β_i , из подмножества действий выбирается решение, для которого значение β_i наибольшее.

Множество параметров Θ содержит параметры алгоритма получения достоверной информации $\theta^{(1)}$ и параметры стратегии $\theta^{(2)}$. Параметры $\theta^{(2)}$ могут быть определены непосредственно по оценке текущей ситуации \tilde{S} . При выборе значений параметров $\theta^{(1)}$ возникает неопределенность, связанная с тем, что значения этих параметров определяются ситуацией, которая может возникнуть после применения некоторой стратегии поиска и совершения рабочего шага.

Рассматриваемая структура ситуационной модели позволяет делать прогноз ситуации, при этом схема принятия решения будет иметь вид

$$\Gamma \times B \rightarrow \tilde{S} \xrightarrow{\mu(\tilde{S}, \tilde{S}^{*i})} \tilde{S}^{*i} \rightarrow \tilde{\theta}_i, \tilde{U}_F^V \rightarrow \theta^{(2)} \rightarrow \tilde{S}_n \xrightarrow{\mu(\tilde{S}, \tilde{S}^{*j})} \tilde{S}^{*j} \rightarrow \tilde{\theta}_j \rightarrow \theta^{(1)}$$

Модель не ограничивается одномерным случаем. Более того, реализация нечетких стратегий поиска экстремума в многомерном случае позволяет решить проблемы, связанные с неравнозначностью влияния факторов на величину показателя качества, выбором оптимальной стратегии достижения экстремума в условиях априорной неопределенности модели объекта. При этом в САО с нечеткими стратегиями в качестве алгоритмов получения информации могут быть использованы известные алгоритмы планирования эксперимента, а коэффициенты **В** будут коэффициентами нечеткой регрессионной модели [9].

Рассмотрим пример задания эталонных ситуаций для объекта [1]. Пусть $\varepsilon = x - x^*$ - отклонение от экстремального значения параметра x^* . Область значений ε разбивается на следующие подобласти: $\varepsilon < \varepsilon_{21}$, $\varepsilon > \varepsilon_{22}$ - область больших отклонений; $\varepsilon_{21} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{11}$, $\varepsilon_{12} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{22}$ - область малых отклонений; $\varepsilon_{11} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{12}$ - область несущественных отклонений (область экстремума); $\varepsilon_{21} < \varepsilon_{11} < \varepsilon_{12} < \varepsilon_{22}$.

Пусть \tilde{K}_1 , \tilde{K}_2 - оценки крутизны характеристики объекта на левой и правой ветви соответственно. Для рассматриваемого случая при квадратичной модели характеристики $\tilde{K}_1 \approx -1120$, $\tilde{K}_2 \approx -150$. Величина отклонения оценивается как

$$\tilde{\varepsilon} = \begin{cases} \bar{\delta} / \tilde{K}_1, & \bar{\delta} > 0, \\ \bar{\delta} / \tilde{K}_2, & \bar{\delta} \leq 0, \end{cases} \quad \tilde{\sigma}_{\varepsilon} = \begin{cases} \hat{\sigma}_{\delta} / \tilde{K}_1, & \bar{\delta} > 0, \\ \hat{\sigma}_{\delta} / \tilde{K}_2, & \bar{\delta} \leq 0, \end{cases}$$

где $\bar{\delta}$ - оценка градиента характеристики, $\hat{\sigma}_{\delta}^2$ - дисперсия оценки [1].

Характерные ситуации поиска $S = \{\tilde{S}^{*i}\}$, $\tilde{S}^{*i} = \{<1/s_1^i, 1/s_2^j>\}$, $i=1,2,\dots,5$, $j=1,2$ определяются переменными s_1 -«расстояние до экстремума», s_2 -«точность определения ε ». Функции принадлежности значений s_1 для рассматриваемого объекта могут иметь вид, изображенный на рис. 1.

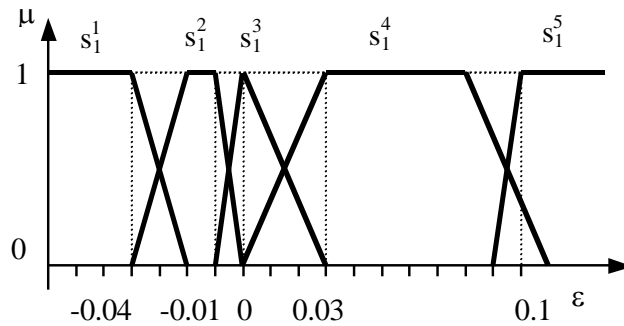


Рис. 1. Функция принадлежности

Переменная s_2 принимает значения s_2^1 - «высокая», s_2^2 - «низкая» и

определена на множестве возможных значений дисперсии оценки \mathcal{E} .

Эвристический алгоритм выбора стратегии представляет собой набор правил:

П.1. Если отклонение большое, то при большой точности оценки выбрать величину шага, пропорционально оценке отклонения, иначе - выбрать величину шага достаточно большой.

П.2. Если отклонение малое, то при большой величине шага значительно уменьшить шаг, иначе – немного уменьшить шаг.

П.3. Если система в окрестности экстремума, то величина шага должна быть небольшой.

Зададим значения лингвистических переменных задачи. Величина рабочего шага поиска: $\tilde{A} = \{\tilde{a}_1, \tilde{a}_2, \tilde{a}_3, \tilde{a}_4\}$, \tilde{a}_1 - «малый», \tilde{a}_2 - «большой». Решение по выбору рабочего шага: $\Delta\tilde{a} = \{\Delta\tilde{a}_1, \Delta\tilde{a}_2, \Delta\tilde{a}_3, \Delta\tilde{a}_4, \Delta\tilde{a}_5\}$, $\Delta\tilde{a}_1$ - «без изменений», $\Delta\tilde{a}_2$ - «немного уменьшить», $\Delta\tilde{a}_3$ - «значительно уменьшить», $\Delta\tilde{a}_4$ - «выбрать пропорционально градиенту», $\Delta\tilde{a}_5$ - «выбрать малую величину шага».

Нечеткий алгоритм формализуется как набор правил «Если $\tilde{S} = \tilde{S}^{*i}$ и $\tilde{A} = \tilde{a}_j$ то $\Delta\tilde{a} = \Delta\tilde{a}_k(\tilde{\varepsilon})$ ».

Проведенные исследования рассмотренного простейшего случая с применением имитационного моделирования [4] позволили сделать следующие выводы.

1. При наличии случайных возмущений, обусловленных изменением режима ОУ и искажающих оценку градиента характеристики, использование гибких поисковых стратегий позволяет снизить риск принятия неверного решения и улучшить качество процессов в САО, оцениваемое по критериям [4]. Учет фактора точности оценок, используемых для принятия решений, при этом является определяющим.

2. При незначительных возмущениях режима ОУ характеристики нечеткой стратегии сравнимы с характеристиками детерминированных стратегий.

Представляется целесообразным исследовать возможность синтеза нечетких стратегий для многомерных поисковых систем и управления процессами режимных испытаний и оптимизации функционирования технологического оборудования с применением методов планирования эксперимента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Молчанов А.Ю. Применение нечетких моделей в задачах автоматической оптимизации объектов энергетики // Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Актуальные проблемы производства и потребления электроэнергии». - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. №11(55).
2. Растринин Л.А. Системы экстремального управления. - М.: Наука, 1974.
3. Растринин Л.А. Адаптация сложных систем. - Рига: Зинатне, 1981. - 375 с.
4. Финаев В.И., Молчанов А.Ю. Модели систем автоматической оптимизации энергетических объектов // Известия ТРТУ. Тематический выпуск «Актуальные проблемы производства и потребления электроэнергии». - Таганрог: ТРТУ, 2004. №7. - С. 82-87.
5. Берштейн Л.С., Финаев В.И. Адаптивное управление с нечеткими

стратегиями. Ростов – на – Дону.: Изд-во Рост. гос. университета, 1993. - 134 с.

6. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике. М.: Радио и связь, 1990.

7. Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. - М.: Наука, 1990. - 272 с.

8. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной / А.Н.Борисов, А.В.Алексеев, О.А.Крумберг и др. - Рига: Зинатне, 1982.

9. Финаев В.И., Блошенко В.В. Модели планирования экспериментов с нечеткими параметрами // Известия ТРТУ, тематический выпуск «Актуальные проблемы производства и потребления электроэнергии». 2004. №7. - С. 87.

Е.С. Никул

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ НЕЧИСЛОВОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРОВ ЭНЕРГОПРЕДПРИЯТИЙ

В настоящее время все шире применяются различные методы экспертных оценок. Они незаменимы при решении сложных задач оценивания и выбора технических объектов, в том числе специального назначения, при анализе и прогнозировании ситуаций с большим числом значимых факторов - всюду, когда необходимо привлечение знаний, интуиции и опыта многих высококвалифицированных специалистов-экспертов. Примером подобной отрасли, где необходимо учитывать множество взаимосвязанных и независимых факторов, является энергетическая промышленность.

Проведение экспертных исследований основано на использовании современных методов прикладной математической статистики, прежде всего статистики объектов нечисловой природы, и современной компьютерной техники.

Среди существующих задач оценки экспертной информации можно выделить следующие группы:

- задача согласованности информации, полученной от разных групп экспертов (мнение большинства подавляет мнение меньшинства, проблема оппозиции «теоретиков» и «практиков», отбрасывание мнения каких-либо экспертов в случае отличающейся точки зрения);

- задача одномерности мнения (уменьшение значимости некоторых параметров при комплексной экспертной оценке);

- задача подбора экспертов (компетентность, взаимооценка, самооценка, создание групп экспертов);

- задача разработки математической модели поведения экспертов (параметрическая, непараметрическая, модель анализа данных);

- задача выбора математических методов анализа экспертных оценок (статистические, интервальные, другие или смешанные).

Таким образом, возникает задача минимизации негативно влияющих факторов на принятие решения на основе экспертной информации.

Решением поставленной задачи являются: разработка методов оценки знаний экспертов и создание автоматизированных информационно-управляющих систем поддержки принятия решения, учитывающих наибольшее количество вышеперечисленных проблем и обладающих оптимальным уровнем качества полученной информации. Примером таких систем являются экспертные системы. Но зачастую они не соответствуют необходимым критериям.