

НЕЙРОИНФОРМАТИКА ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ

НЕЙРОИНФОРМАТИКА И ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

NEUROINFORMATICS AND INTELLIGENT SYSTEMS

УДК 681.518.2:658.5

Авраменко В. П.¹, Ткаченко В. Ф.², Серета Л. Б.³

¹Д-р техн. наук, профессор Харьковского национального университета радиозлектроники

²Профессор, заведующий кафедрой Харьковского национального университета радиозлектроники

³Старший преподаватель Харьковского национального университета радиозлектроники

ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И НЕЧЕТКОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Исследованы интеллектуальные вычислительные процедуры принятия управленческих решений в условиях неопределенности и нечетко заданной исходной информации. Разработаны гибкие математические модели и регуляризованные процедуры принятия многокритериальных эффективных управленческих решений.

Ключевые слова: принятие решений, интеллектуальные процедуры, условия неопределенности и нечеткости

ВВЕДЕНИЕ

Важная роль в повышении эффективности производства отводится методам и средствам искусственного интеллекта, которые позволяют повысить качество принимаемых решений в условиях неопределенности цели, функционирования и проявления внешней среды. Источниками неопределенности может выступать несогласованность или противоречивость требований плана и выделенных ресурсов; отклонение исходных предпосылок от фактических условий; наличие дрейфа характеристик и зашумленность измерений, слабая структурируемость и плохая обусловленность системы; варьирование исходных данных и т. п. [1, 2].

Если до недавнего времени считалось, что существует два основных подхода к принятию управленческих решений в условиях неопределенности – детерминированный и вероятностный, то в последнее десятилетие с полным основанием можно говорить о появлении третьего, принципиально ново-

го подхода, основанного на нечетко множественном их описании [3, 4].

Решения, принимаемые в условиях неопределенности исходных данных и проявления внешней среды, всегда приводят к худшим результатам, чем при полной определенности. В этом случае отыскивается квазиоптимальное решение, которое является не безусловно лучшим, а лучшим в некотором смысле, например, при многократном повторении или в смысле близости к некоторому предпочтительному решению с точки зрения лица, принимающего решения (ЛПР).

При формализации задачи принимаются попытки снизить меру неопределенности путем привлечения дополнительной информации. Фактически осуществляется переход от полной неопределенности к стохастической неопределенности или нечетким множествам, что приводит к множеству допустимых

квазиоптимальных решений. Выбор лучшего из квазиоптимальных решений производится на основании различных методов интеллектуализации процедур принятия управленческих решений применительно к конкретному виду неопределенности [1–4].

Таким образом, *актуальной задачей* является исследование характеристик неопределенностей и выявление их влияния на структуру и параметры математических моделей принятия управленческих решений с учетом этих неопределенностей и нечеткости множеств принимаемых решений.

Целью исследования является разработка, совершенствование и реализация гибких математических моделей принятия управленческих решений в условиях различного рода детерминированных и вероятностных неопределенностей, а также нечеткости исходных данных и принимаемых решений.

ФАКТОРЫ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И НЕЧЕТКОСТИ ОПИСАНИЯ ЗАДАЧ

Большинство задач принятия управленческих решений приходится решать в условиях неопределенности – неполноты, недостоверности и несвоевременности поступления информации. Существует большое количество источников и форм проявления неопределенности [2]:

- 1) неопределенность, вызванная недостатком информации и ее достоверности;
- 2) неопределенность, связанная с ограничениями времени принятия решения, заданной точности и объема оперативной памяти ЭВМ;
- 3) неопределенность, обусловленная высокой платой за получение определенности;
- 4) неопределенность, возникающая из-за неадекватности модели по причинам неопределенности цели и критериям функционирования, неопределенности проявления внешней среды по отношению к рассматриваемой системе, неопределенности при выборе рациональной сложности модели;
- 5) неопределенность, порождаемая действиями людей в процессе производства и принятия решений;
- 6) преднамеренно организованная неопределенность для сокрытия поведения системы и ее ресурсов.

В настоящее время личностный фактор принятия управленческих решений становится одним из тех источников, которые вносят существенную неопределенность, неточность и нечеткость в описание многих важных технических задач. Для преодоления сложившегося положения Л. А. Заде разработал аппарат нечетких множеств, который позволяет решать задачи классической математики с существенной неопределенностью и нечеткой логикой [3, 4].

Принципиальное отличие неопределенности и нечеткости аппарата принятия решений заключается в том, что в отличие от классической вероятностной неопределенности, пересечение взаимно исключающих событий в нечеткой логике не является пустым множеством, а сумма вероятностей взаимноисключающих событий может быть больше единицы.

Основным инструментом нечеткого моделирования является функция принадлежности. Эта функция предназначена для преобразования лингвистических переменных, называемых терм-множествами (переменных, которым сложно придать точную количественную оценку, такую, например как «малый», «средний», «большой» и т. д.). Терм представляет собой множество значений, которые может принимать нечеткая переменная.

Функцией принадлежности $\mu_A(X)$ является математическая функция, задающая уверенность, с которой элементы некоторого множества X принадлежат заданному нечеткому множеству A . Чем больше аргумент соответствует нечеткому множеству A , тем больше значение $\mu_A(X)$, т. е. тем ближе значение функции к 1. Основанием для построения функции принадлежности могут служить экспертные оценки, справочные или нормативные данные.

Построение функций принадлежности можно осуществлять с использованием прямых и косвенных методов [5].

Прямые методы характеризуются тем, что эксперт непосредственно задает правила определения значений функции принадлежности $\mu_A(X)$, характеризующей элемент x . Примерами прямых методов являются непосредственное задание функции принадлежности таблицей, графиком или формулой. Недостатком этой группы методов является большая доля субъективизма.

В косвенных методах значения функции принадлежности выбираются таким образом, чтобы соответствовать заранее сформулированным условиям. Экспертная информация является только исходной информацией для дальнейшей обработки. К группе данных методов можно отнести методики построения функций принадлежности на основе парных сравнений, с использованием статистических данных, на основе ранговых оценок и т. д.

Основными этапами нечеткого вывода являются: 1) формирование базы правил системы нечеткого вывода; 2) фазсификация входных параметров; 3) агрегирование; 4) активизация подусловий в нечетких правилах продукций; 5) аккумуляция заключений; 6) дефазсификация. Данная схема относится к алгоритму нечеткого вывода Мамдани, который нашел широкое

применение в различных нечетких экспертных системах [5].

Оценка достоверности принимаемых решений осуществляется на основе вероятностных или нечетких моделей, разработка которых в общем случае представляет собой довольно сложную задачу, требующую введения различных ограничений в условиях неопределенности, нечеткой логики или зашумленных данных.

МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Принятие управленческих решений в общем случае сводится к постановке и решению задач стохастического программирования [1]

$$x^* = \arg \min_{x \in X} \left\{ \frac{E_{\omega} Q[c(\omega), x]}{E_{\omega} G[a(\omega), x]} \geq E_{\omega} b(\omega), x \geq 0 \right\}, \quad (1)$$

где x – вектор искоемых переменных; X – допустимое множество (детерминированное или вероятностное); $E_{\omega}\{\cdot\}$ – оператор усреднения в условиях действия случайного вектора ω ; $Q[c(\omega), x]$, $G[a(\omega), x]$, $c(\omega)$, $a(\omega)$, $b(\omega)$ – соответственно целевая функция, функция ограничений, коэффициенты целевой функции, функции ограничений и условий функционирования, зависящие от случайного фактора ω .

Вероятностная неопределенность позволяет построить стохастические модели различной структуры. Существуют задачи, в которых нарушение ограничений при какой-либо реализации случайных условий приводит к весьма нежелательным последствиям. В таких случаях под планом понимаются лишь векторы x , которые удовлетворяют всем функциональным $a(\omega)$ и ресурсным ограничениям $b(\omega)$, появляющимся с ненулевой вероятностью.

Задачи принятия управленческих решений часто сводятся к задачам терминального управления [2]

$$Q^*(x) = \text{extr}_{x \in X} Q(c, x, \gamma, \eta), \quad (2)$$

$$G_j(a, b, x, \gamma, \eta) \geq R_j, \quad j = \overline{1, m_1}, \quad (3)$$

$$G_j(a, b, x, \gamma, \eta) = R_j, \quad j = \overline{m_1, m}, \quad (4)$$

где x – искомая переменная; a, b, c – параметры модели; $Q(\cdot)$, $G(\cdot)$ – критерий эффективности и ограничения задачи; γ – фактор неопределенности, η – регуляризирующий параметр, зависящий от способа внесения определенности.

Детерминированный эквивалент задачи (1) для нормального распределения случайных величин c_i , a_{ij} , b_j можно представить в виде [1, 2]

$$x^* = \text{Arg min}_{x \in X^n} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n \bar{c}_i x_i}{\sum_{i=1}^n \bar{a}_{ij} x_i} \geq \bar{b}_j + \xi_j, \quad j = \overline{1, m} \right\}, \quad (5)$$

$$\bar{x}_i \leq x_i \leq x_i^+, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

$$\xi_j = t_{\alpha_i} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{ij}^2 x_i + Q_j^2}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (7)$$

где ξ_j – слагаемое, учитывающее неопределенность задания коэффициентов функциональных ограничений через вероятностные характеристики – закон распределения, доверительную вероятность и дисперсии σ_{ij}^2 и θ_j^2 случайных величин a_{ij} и b_j ; \bar{c}_i , \bar{a}_{ij} , \bar{b}_j – математическое ожидание случайных величин c_i , a_{ij} , b_j ; t_{α_i} – значение t , соответствующее уровню доверительной вероятности соблюдения ограничений α_i .

Многокритериальную задачу принятия решения сформулируем следующим образом. Пусть на некотором линейном пространстве x^n определены m функций $y_i = \phi_i(x)$, которые можно рассматривать как частные критерии эффективности. Требуется определить такое значение x^* , которое доставляет экстремум (для определенности максимум) нескольким частным критериям y_i , $i = \overline{1, k}$, удерживая остальные y_i , $i = \overline{k+1, m}$ на некотором уровне b_i , $i = \overline{k+1, m}$, т. е.

$$Q(x) = \sum_{i=1}^k \alpha_i \phi_i(x) \rightarrow \max_{x \in X^n}, \quad (8)$$

$$R_i(x) = \phi_i(x) \geq b_i, \quad i = \overline{k+1, m}, \quad (9)$$

$$x_i^- \leq x \leq x_i^+, \quad x_i \geq 0, \quad i = \overline{1, k}. \quad (10)$$

Система функциональных ограничений (9) содержит аналитические зависимости типа балансовых уравнений и статистические – в виде производственных функций. Параметры последних оцениваются по результатам наблюдений, а поэтому содержат вероятностную неопределенность. Применение интегральных оценок наталкивается на неопределенность исходных данных (среднее \pm разброс) и приводит к нескольким квазиоптимальным решениям. Выбор лучшего из них производится ЛПР.

Неопределенность принимаемых решений при многокритериальной оптимизации резко усиливается, поскольку она включает в себя неопределенность исходных данных локальных задач оптимизации, неопределенность вычислительных процедур и неопределенность свертки локальных критериев.

Наименьшей неопределенностью обладает вероятностный метод свертки, когда выбирается главный критерий, рассчитывается статистическая связь между ним и частными критериями, определяются коэффициенты при частных критериях, которые служат весовыми коэффициентами при свертке.

Стоимостной метод устанавливает веса, пропорциональные стоимости улучшения показателя, например, на определенный процент. При экспертном методе веса устанавливаются по важности критериев. ЛПР может устанавливать важность частных критериев по своему усмотрению, поэтому этот метод свертки обладает наибольшей неопределенностью.

Компенсация неопределенности осуществляется различными приемами, учитывающими дополнительную информацию о свойствах объекта и проявлении внешней среды. Каждый способ повышения определенности ориентирован на соответствующий фактор неопределенности. Важным средством повышения определенности является обратная связь, позволяющая реагировать на результаты принятия решения и осуществлять адаптацию характеристик системы, проявления внешней среды и свойств алгоритмов принятия решения.

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ
МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

В функциональных ограничениях $\varphi(x)$ задачи принятия управленческих решений (2)–(4) можно выделить фактор неопределенности в виде отдельного параметра γ :

$$\gamma = \varphi(x, a, \gamma). \tag{11}$$

Основными причинами появления неопределенности γ являются случайные отклонения параметров технологических процессов, непредсказуемые волевые решения организационных вопросов, изменяющиеся неслучайным образом условия работы и проявления внешней среды, старение и износ оборудования. В задачах оптимизации неопределенность проявляется в недостоверности и неполноте исходных данных, неадекватности используемых соотношений и противоречивости системы ограничений. Неопределенность многокритериальных задач включает в себя неопределенность, вносимую исходными данными, регуляризацией при оценивании параметров функциональных ограничений, аппроксимацией некорректно поставленной задачи и сверткой частных критериев.

Учет неопределенности осуществляется с целью определить степень влияния γ на качество получа-

емых решений и по возможности принять меры, ослабляющие это влияние. Существует несколько путей «избавиться» от неопределенности. Наиболее простой из них – заменить в модели (11) случайные изменяющиеся компоненты γ усредненными их характеристиками и перейти к модели

$$y = \varphi(x, a; \bar{\gamma}), \tag{12}$$

где $\bar{\gamma} = E(\gamma)$ – математическое ожидание случайного вектора γ .

Формально избавиться от неопределенности можно путем усреднения не только самого фактора, но и реакции системы. В последнем случае модель (12) заменяется выражением

$$y = \overline{\varphi(x, a; \gamma)} = E\{\varphi(x, a; \gamma)\}. \tag{13}$$

Несмотря на то, что дальнейшие исследования моделей (12) и (13) можно производить детерминированными методами, полученные результаты должны интерпретироваться с учетом вероятностной природы вектора γ . Общая задача (2)–(4) принятия управленческих решений с учетом компонент фактора неопределенности может быть представлена моделью

$$Q(x, \gamma_1) = \{(\varphi_1(x), \dots, \varphi_k(x); \gamma_1)\} \rightarrow \max_{x \in D}, \tag{14}$$

$$D(x; \gamma_2, \gamma_3) = \{x \in R^n \mid R_i = \varphi_i(x, a; \gamma_2) \geq B_i, \\ a_j(x^l, \gamma_3) \leq x_j \leq b(x^l, \gamma_3), x_j \geq 0, j = \overline{1, n}\}, \tag{15}$$

где γ_1 – компонента, отражающая неопределенность процедуры свертки критериев; γ_2 – случайная компонента, отражающая дрейф характеристик; γ_3 – детерминированная компонента, изменения начальных условий (исходных данных).

Таким образом, желание избавиться от вероятностной неопределенности приводит к постановкам задач в классе стохастического программирования, решение которых сопряжено со значительными вычислительными трудностями и внесением новых неопределенностей. Поэтому целесообразно вначале решить задачу детерминированной оптимизации при фиксированных значениях γ^l , а затем исследовать устойчивость и чувствительность полученного решения к проявлениям внешней среды.

**ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ НЕЧЕТКОЙ
ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

При выработке управленческих решений часто встречаются задачи, в которых исходные данные нечетко сформулированы и плохо определены. Такие задачи содержат большое число неопределенностей типа *много, мало, плохо, хорошо*, которые не имеют

аналогов в языке традиционной математики. Поэтому подобные описания средствами традиционной математики сильно огрубляют математическую модель принятия решений.

Для решения такого класса задач потребовалось создание нового математического аппарата для формализации нечетких понятий и суждений, которыми оперирует человек при описании своих представлений о системе, своих желаний и целей. Как уже упоминалось, такой математический аппарат получил название теории нечетких или размытых множеств.

Аппарат нечетких множеств позволяет широко использовать надежные и проверенные математические подходы при решении задач, которые раньше с трудом подлежали математическому описанию или вообще не подлежали формализации. При этом возникла возможность соединения строгости и точности классической математики с имеющейся неопределенностью, нечеткостью и неоднозначностью многих практических ситуаций.

Задача принятия управленческих решений при нечеткой исходной информации может быть сформулирована следующим образом. Пусть имеется некоторое множество $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ альтернатив принимаемых решений. Реализация каждой альтернативы приводит к наступлению некоторого исхода, совокупность которых представляет собой множество $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$. В результате решения задачи требуется построить такую модель выбора альтернатив, которая бы обеспечила лучший в некотором смысле результат этого выбора.

При постановке, анализе и решении задач математического программирования при нечетко заданной исходной информации принято различать следующие подходы [3–5]:

1) задачи достижения поставленной цели для случая пересечения нечеткого множества целей $G(X)$ и четкого множества допустимых альтернатив $C(X)$;

2) задачи достижения поставленной цели для случая пересечения нечеткого множества целей $G(X)$ и нечеткого множества допустимых альтернатив $C(X)$;

3) задачи достижения поставленной цели для случая непересечения нечеткого множества целей $G(X)$ и нечеткого множества допустимых альтернатив $C(X)$ методом взаимной «подтяжки» друг к другу области целей и ограничений;

4) задачи достижения четко поставленной цели $G(X)$ на заданном нечетком множестве допустимых альтернатив $C(X)$;

5) нечеткий вариант задач математического программирования, которые решаются по принципу многоальтернативной оптимизации.

РЕГУЛЯРИЗУЮЩИЕ ПРОЦЕДУРЫ ПРИНЯТИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

Принятие управленческих решений в условиях неопределенности целей, критериев и ограничений часто осуществляется по совокупности локальных критериев $Q_1(x), \dots, Q_i(x)$, которые рассматриваются как локальные критерии качества. Задача многокритериальной оптимизации состоит в том, чтобы на множестве допустимых решений

$$x = \{x: x \in E_+^n, g(x) \geq 0, h(x) = 0\} \quad (16)$$

определить точку x^* , в которой векторный критерий эффективности достигает максимально-предпочтительного значения

$$Q^*(x) = \langle Q_1^*(x), \dots, Q_i^*(x) \rangle \rightarrow \max_{x \in X} Q(x). \quad (17)$$

Поскольку получить решение x^* , доставляющее максимальные значения одновременно всем локальным критериям эффективности, не представляется возможным, то важным этапом решения многокритериальной задачи является установление компромисса о том, какое решение считать наиболее предпочтительным по совокупности локальных критериев. Наиболее разработанными в настоящее время считаются процедуры выделения эффективных решений.

Подмножество Ω_\ominus множества допустимых решений x является областью эффективных решений (областью компромиссов или областью решений, оптимальных по Парето)

$$\Omega_\ominus = \{x: x \in X, \langle x': Q(x') \geq Q(x) \rangle \cap X \neq \emptyset\}, \quad (18)$$

если все принадлежащие ему решения не могут быть улучшены по всем локальным критериям без снижения уровня хотя бы одной из компонент векторного критерия $Q = \langle Q_1(x), \dots, Q_i(x) \rangle$. Совокупность эффективных значений векторного критерия образует паретову границу подмножества $E(\Omega_\ominus)$. Допустимый план, который не лежит на паретовой границе, не является эффективным, поскольку его можно улучшить с точки зрения некоторого критерия, а, следовательно, и глобальной цели, с которой этот локальный критерий согласован.

Множественность эффективных решений является скорее достоинством, а не недостатком, поскольку «жесткие» схемы получения единственного решения неадекватны сущности векторной оптимизации, а имеющаяся «свобода» выбора предпочтительного решения из множества эффективных позволяет учесть неопределенность целей и критериев.

ВЫВОДЫ

Поскольку мир неопределенностей и нечеткостей исходной информации чрезвычайно разнообразен, то при исследовании конкретной предметной области целесообразно выделять наиболее характерные для нее неопределенности и нечеткости с точки зрения решаемых задач.

В задачах принятия управленческих решений широко распространена неопределенность обстановки, причинами которой являются случайные отклонения параметров процессов, непредсказуемые волевые решения организационных вопросов, изменяющиеся неслучайным образом условия работы и проявления внешней среды, старение и износ оборудования.

В задачах оптимизации неопределенность проявляется в недостоверности и неполноте исходных данных, неадекватности используемых соотношений и противоречивости системы ограничений. Неопределенность многокритериальных задач включает в себя неопределенность, вносимую исходными данными, регуляризацией при оценивании параметров функциональных ограничений, аппроксимацией некорректно поставленных задач и сверткой частных критериев.

Решение конкретных задач с учетом нечеткости характеристик объекта, проявления внешней среды и нарушения исходных предпосылок требует разработки интеллектуальных (регуляризованных, эвристических) процедур принятия управленческих решений с ориентацией на существующий вид неопределенности и нечеткость исходной информации.

УДК 004.032.26

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко В. П. Управление производством в условиях неопределенности / Авраменко В. П. – Киев : УМК ВО, 1992. – 48 с.
2. Авраменко В. П. Концепции интеллектуализации процедур принятия управленческих решений в условиях неопределенности / Авраменко В. П. // АСУ и приборы автоматизации. – 1998. – Вып. 108. – С. 42–58.
3. Пономарев А. С. Нечеткие множества в задачах автоматизированного управления и принятия решений / Пономарев А. С. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2005. – 258 с.
4. Раскин Л. Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения / Раскин Л. Г., Серая О. В. – Харьков : Парус, 2008. – 352 с.
5. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH / Леоненков А. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 716 с.

Надійшла 12.04.2010

Авраменко В. П., Ткаченко В. П., Серета Л. Б.
ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА НЕЧІТКОСТІ ВИХОДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Досліджено інтелектуальні обчислювальні процедури прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності та нечітко заданої початкової інформації. Розроблено гнучкі математичні моделі та регуляризовані процедури прийняття багатокритеріальних управлінських рішень.

Ключові слова: прийняття рішень, інтелектуальні процедури, умови невизначеності та нечіткості.

Avramenko V. P., Tkachenko V. P., Sereta L. B.
MANAGEMENT DECISIONS IN CONDITIONS OF UNCERTAIN AND FUZZY SOURCE INFORMATION

Intelligent computer procedures of making management decisions in conditions of uncertain and fuzzy source information were studied. Flexible mathematic models and regularized procedures of making multicriterion management decisions were developed.

Key words: decision-making, intellectual procedures, conditions of uncertainty and fuzziness.

Асеев Г. Г.

Докт. техн. наук, заведуючий кафедрой Харьковской государственной академии культуры

МЕТОДЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПРЕДОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ЭЛЕКТРОННЫХ ХРАНИЛИЩАХ

Представлен один из возможных формализмов задачи предобработки входных сигналов для сигмоидных обучающихся нейронных сетей на основании минимизации критерия Липшица.

Ключевые слова: предобработка, нейронная сеть, электронное хранилище, константа Липшица, синапс, сумматор.

ВВЕДЕНИЕ

Возрастание объемов информации, необходимой для принятия решений, приводит к резкому увеличе-

© Асеев Г. Г., 2010

нию количества документов, в связи с чем традиционные методы работы с последними становятся малоэффективными. На помощь приходят корпоратив-