

2. Пашаев А. М. и др. Восстановление параметров геополей с учетом шумов измерений. Ч. 1. Методы сглаживания, фильтрации и регуляризации // Измерительная техника. 2010. № 8. С. 3—11.
3. Льюинг Л. Идентификация систем: Теория для пользователя. М.: Наука, 1991.
4. Петрович М. Л. Регрессионный анализ и его математическое обеспечение на ЕС ЭВМ. М.: Финансы и статистика, 1982.
5. Грановский В. А., Сирая Т. Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. Л.: Энергоатомиздат, 1990.
6. Федоров В. В. Теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 1971.
7. Садыхов Р. А., Гаджиев Ч. М. Идентификация параметров математической модели нефтяного пласта // Метрология. 1996. № 4. С. 3—14.
8. Гаджиев Ч. М. Рекуррентный алгоритм оценивания линейной регрессионной модели с учетом погрешностей в регрессионном векторе. // Заводская лаборатория. 2000. Т. 66. № 7. С. 66—71.
9. Абдуллаев Ф. М., Гейдаров Э. Х. // Автоматика и телемеханика. 1985. № 1. С. 41—47.
10. Чебраков Ю. В. Теория оценивания параметров в измерительных экспериментах. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского гос. ун-та, 1997.
11. Самарский А. А., Вабишевич П. Н. Численные методы решения обратных задач математической физики. М.: Едиториал УРСС, 2004.
12. Садыхов Р. А., Дадашев А. М. Применение нечеткой логики и Soft Computing технологии. Баку: Nafta-Press, 2000.
13. Mohinder S. G., Angus P. A. Kalman Filtering. Theory and Practice. New Jersey: Prentice Hall, Upper Saddle River, 1993.
14. Дмитриев В. И. и др. Вычислительные математика и техника в разведочной геофизике. М.: Недра, 1990.
15. Буряковский Л. А., Джафаров И. С., Джаваншир Р. Д. Моделирование систем нефтегазовой геологии. М.: Недра, 1990.
16. Садыхов Р. А. Математические модели и эффективные алгоритмы решения оптимальных задач АСУ ТП добычи нефти: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук. М., 1995.
17. Yager R. R., Zadeh L. A. (Eds). Fuzzy sets, neural networks and soft computing. N. Y.: VAN Nostrand Reinhold, 1994.
18. Алиев Р. А., Алиев Р. Р. Теория интеллектуальных систем и ее применение. Баку: Casioglu, 2001.
19. Sadigov R. A. e. a. Identification of fuzzy models of geofiled // Eighth International conf. appl. of fuzzy systems and soft computing. Helsinki, Finland, 2008. P. 187—192.
20. Bohme G. Fuzzy-logic. N.Y. Springer — Verlag, 1994.
21. Хайкин С. Нейронные сети. М.: Изд-во ООО «И. Д. Вильямс», 2006.
22. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М. Горячая линия — Телеком, 2002.
23. Рутковская Т., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети и нечеткие системы. М.: Горячая линия — Телеком, 2006.
24. Pashayev A. M. e. a. Identification System for the Technical Condition of Gas Turbine Engines of Aircraft // Aviation. 2008. N 12(4). P. 101—112.

Дата принятия 13.05.2010 г.

621.398

Регуляризация задачи контроля технического состояния сложных технических объектов с использованием программных комплексов для систем нечеткого условного вывода

С. А. ГАЛАЕВ, А. Ю. ПОТЮПКИН

Военная академия ВВС им. Петра Великого, Москва, Россия
e-mail: galaevsergey1@rambler.ru

На конкретном примере показано применение методики регуляризации задачи контроля технического состояния сложных технических объектов в нештатных ситуациях с привлечением дополнительной семантической информации.

Ключевые слова: сложные технические объекты, бортовая информационно-телеметрическая система, контроль технического состояния, нештатная ситуация, регуляризация, программное обеспечение, семантическая информация.

The application of technical condition control problem regularization method for complex technical objects in emergency situations by more semantic information attraction is shown conerete example.

Key words: complex technical objects, onboard information-telemeteric system, technical condition control problem, the monitoring system, emergency situation, regularization software, semantic information.

В настоящее время актуальной является задача определения технического состояния (ТС) сложных технических объектов (СТО) при возникновении нештатных ситуаций, обус-

ловленных недостатком измерительной информации, сбоями и недоработками программного обеспечения и технической документации. В [1] приведен алгоритм определе-

ния ТС СТО при возникновении нештатной ситуации (НШС). Встает вопрос практической реализации предложенного алгоритма оценки ТС применительно к СТО. Основу алгоритма представляет регуляризация задачи контроля ТС объектов, заключающаяся в привлечении дополнительной информации [2] об искомом решении, выраженной на естественном языке [3]. Для математической обработки информации, представленной на естественном языке, предложено использовать аппарат теории нечетких множеств, в основу которого положен нечеткий условный вывод [4], путем использования продукционных правил «если...то...». В настоящее время существуют различные программные комплексы для автоматизации процесса нечеткого условного вывода. Например, программный продукт Matlab [5], в составе которого имеется редактор FIS (Fuzzy Inference System), позволяющий задавать вид и параметры входных и выходных переменных, методы дефазификации (методы перевода значений, представленных в нечетком виде, в четкие значения), автоматически применять продукционные правила, имеющий удобный и наглядный для пользователя интерфейс.

Рассмотрим пример реализации предложенного в [1] алгоритма определения ТС сложных технических систем применительно к СТО путем использования для автоматизации процесса нечеткого условного вывода программной среды Matlab.

Допустим, что был запущен летательный аппарат (ЛА) для вывода спутника на орбиту. Для получения телеметрической информации о состоянии бортовой аппаратуры служит бортовая информационно-телеметрическая система (БИТС). После запуска не была получена телеметрическая информация из-за отсутствия синхронизации по частоте бортовой передающей и наземной приемной аппаратур. За передачу информации и синхронизацию с наземной приемной станцией отвечает передатчик, входящий в состав БИТС. Необходимо определить причину нестабильности частоты передатчика БИТС, т. е. выяснить его ТС.

Пусть априори из документации известно множество $\{A_n\}$, $n = \overline{1, 4}$ классов ТС передатчика:

- a_1 — исправен;
- a_2 — неисправен из-за низкого напряжения питания;
- a_3 — неисправен вследствие малой излучаемой мощности;
- a_4 — неисправен из-за выхода флуктуаций по мощности за допустимые пределы.

Пусть в данном случае для контроля ТС определяется следующая группа телеметрируемых параметров:

Z — захват частоты, связанный с синхронизацией по частоте бортовой передающей и наземной приемной аппаратур;

U — напряжение питания;

P — излучаемая мощность;

F — амплитуда флуктуации по мощности.

Из эксплуатационно-технической документации (ЭТД) также известна информация о полях допуска контролируемых параметров:

номинальная мощность излучения $P = (20 \pm 2)$ Вт;

напряжение питания $U = (24 \pm 2)$ В;

захват частоты $Z = t_{3,4} / T_{н,ч} = 0,95 \pm 0,5$,

где $t_{3,4}$ — время, когда наблюдался захват частоты; $T_{н,ч}$ — общее время наблюдения.

Амплитуда флуктуации по мощности F составляет 10 % допустимого интервала амплитуды мощности.

Для контроля ТС передатчика используется традиционная матрица контроля (табл. 1).

Исходим из того, что если есть признак захвата по частоте, то в данном случае остальные параметры не контролируются, объект считается исправным, т. е. находится в техническом состоянии a_1 . Дерево поиска состояний в этом случае выглядит традиционно.

Таблица 1

Матрица контроля состояний передатчика

ТС(a_i)	Параметры			
	Z	U	P	F
a_1	1	—	—	—
a_2	0	0	—	—
a_3	0	1	0	—
a_4	0	1	1	0

Пусть по результатам обработки телеметрической информации получены следующие оценки контролируемых параметров: $P = 20$ Вт — излучаемая передатчиком мощность; $U = 25$ В — напряжение питания; $Z = 0,1$ — характеристика захвата частоты, определяемая отношением времени, когда был захват, ко всему времени наблюдения объекта; $F = 9$ % — флуктуации по мощности.

Полученные результаты измерения мощности передатчика приведены на рис. 1.

В рассматриваемом случае ни одно из априорных состояний не наблюдается. Следовательно, возникает НШС, не оговоренная в документации.

Налицо проявление некорректности обратной задачи, поэтому требуется регуляризация задачи классификации. В данном случае в соответствии с описанным в [1] алгоритмом происходит привлечение от эксперта дополнительной качественной информации. Эксперт, используя уже имеющуюся телеметрическую информацию по измерению излучаемой передатчиком мощности (см. рис. 1), выдвигает гипотезу о том, что передатчик неисправен из-за регулярности скачков мощности.

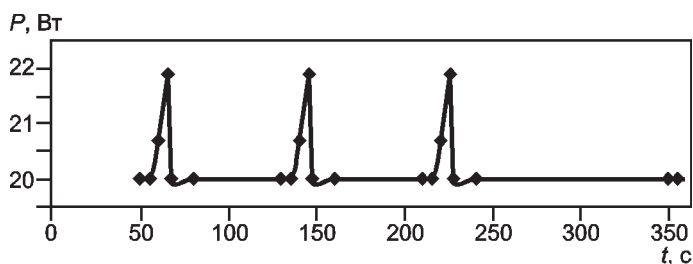


Рис. 1. Результаты измерения мощности передатчика

Матрица контроля в этом случае будет иметь вид, приведенный в табл. 2, где фоном отмечены параметры НШС.

Таблица 2

Матрица контроля состояний передатчика в нештатной ситуации

ТС(a_i)	Параметры				
	Z	U	P	F	R
a_1	1	—	—	—	НШС
a_2	0	0	—	—	
a_3	0	1	0	—	
a_4	0	1	1	0	
a_5	0	1	1	1	

Дерево поиска состояний изображено на рис. 2.

Однако достоверность выдвинутой гипотезы и количественное значение регулярности эксперт может оценить лишь приблизительно, выразив качественную оценку события на естественном языке.

Следовательно, возникает необходимость в совместной обработке полученной количественной и дополнительной качественной измерительной информации. Как показано в [1], автоматизация процесса обработки возможна при формализации задачи в рамках аппарата теории нечетких множеств. В этом случае качественная информация от эксперта представляется в виде соответствующих функций принадлежности, т. е. путем определения нечетких множеств «большая регулярность» и «малая регулярность». При этом для совместной обработки различной информации и количественные измерения необходимо представить в нечетком виде.

На сегодняшний день существует множество различных прикладных программ в программных средах для автоматизированной работы с данными, представленными в нечетком виде. Одной из таких сред является Matlab.

Для примера, приведенного выше, в данной среде была разработана модель контроля ТС передатчика (рис. 3), в которой использована FIS-структура — система нечеткого вывода, являющаяся базовым понятием Fuzzy Logic Toolbox.

Fuzzy Logic Toolbox — это пакет прикладных программ, входящих в состав среды Matlab. Он позволяет создавать системы нечеткого логического вывода и нечеткой классификации в рамках среды Matlab. Базовым понятием является FIS-структура, которая содержит все необходимые данные для реализации функционального отображения «входы—выходы» на основе нечеткого логического вывода. Модуль fuzzy позволяет строить нечеткие системы двух типов — Мамдани и Сугэно. В системах типа Мамдани база знаний состоит из правил вида «Если x_1 = низкий и x_2 = средний, то y = высокий», в системах типа Сугэно — из правил вида «Если x_1 = низкий и x_2 = средний, то $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$ ». Таким образом, основное отличие между системами Мамдани и Сугэно заключается в разных способах задания значений выходной переменной в правилах, образующих базу знаний. В системах типа Мамдани значения выходной переменной задаются нечеткими термами, в системах типа Сугэно — как линейная комбинация входных переменных. FIS-редактор предназначен для создания, сохранения, загрузки и вывода на печать систем нечеткого логического вывода.

В приводимом случае применена система типа Мамдани. Для входных и выходных переменных взяты треугольные и трапециевидные функции принадлежности, что следует из рис. 3, хотя возможны и другие варианты. В редакторе базы знаний (Rule Editor) сформированы нечеткие правила «если ... то ...»:

если есть признак захвата по частоте Z , то объект находится в ТС a_1 ;

если нет признака захвата по частоте Z и напряжение питания передатчика U — малое, излучаемая им мощность P и амплитуда флуктуаций по мощности F — в норме, то объект находится в ТС a_2 ;

если нет признака захвата по частоте Z , напряжение питания передатчика U — в норме, излучаемая им мощность P — мала и амплитуда флуктуаций по мощности F — в норме, то объект находится в ТС a_3 ;

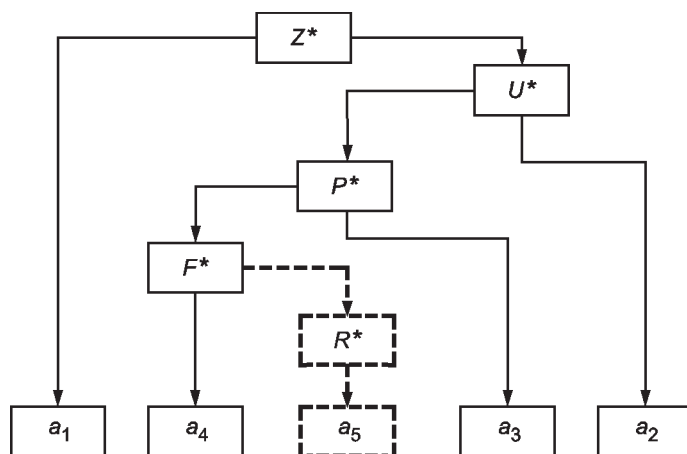


Рис. 2. Дерево поиска состояний в нештатной ситуации:

* — оценка параметра

если нет признака захвата по частоте Z , напряжение питания передатчика U и излучаемая им мощность P — в норме, а амплитуда флуктуаций по мощности F — не в норме, то объект находится в ТС a_4 ;

если нет признака захвата по частоте Z , напряжение питания передатчика U — высокое, излучаемая им мощность P и амплитуда флуктуаций по мощности F — в норме, то объект находится в ТС a_2 .

На машинном языке в программной среде Matlab эти продукционные правила записываются следующим образом:

1. If (Z is есть) then (a_1 is mf3) (1)
2. If (Z is нет) and (U is малое) and (P is норма) and (F is норма) then (a_2 is mf3) (1)
3. If (Z is нет) and (U is норма) and (P is малая) and (F is норма) then (a_3 is mf3) (1)
4. If (Z is нет) and (U is норма) and (P is норма) and (F is ненорма) then (a_4 is mf3) (1)
5. If (Z is нет) and (U is высокое) and (P is норма) and (F is норма) then (a_2 is mf3) (1)

Итак, если признак захвата по частоте Z есть, то объект находится в техническом состоянии a_1 . Если признака захвата по частоте Z нет и напряжение питания передатчика U малое, излучаемая им мощность P и флуктуации по мощности F в норме, то объект находится в состоянии a_2 и т. д.

Визуализация нечеткого логического вывода представлена с помощью GUI-модуля Rule Viewer (см. рис. 3). Этот модуль позволяет проиллюстрировать ход логического вывода по каждому правилу, получение результирующего не-

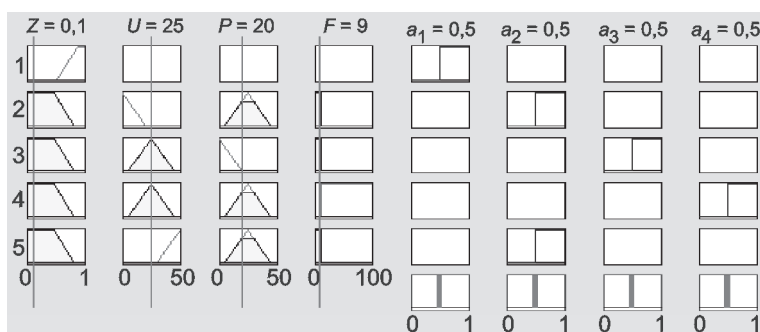


Рис. 3. Модель контроля состояния передатчика без учета регулярности

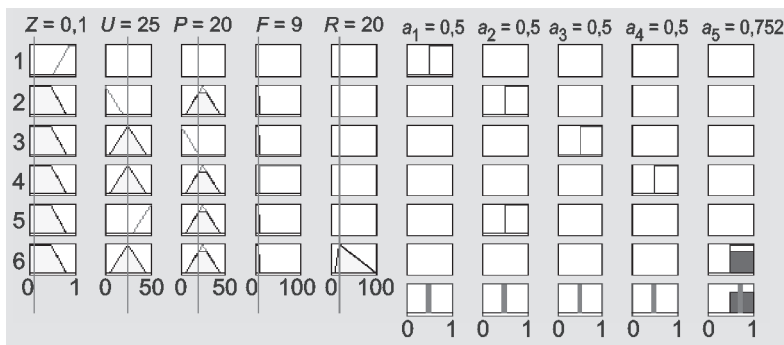


Рис. 4. Модель контроля состояния передатчика с учетом регулярности

четкого множества и выполнение процедуры дефаззификации.

Как видно из рис. 3, при работе модели без учета дополнительной измерительной информации (т. е. учета регулярности скачков мощности передатчика) становится невозможным определение его текущего ТС на основе имеющихся количественных параметров. Достоверность нахождения передатчика во всех ТС одинакова и равна 0,5.

Однако, получив дополнительную качественную информацию от специалиста-аналитика о том, что «регулярность скачков мощности — большая», формализовав ее при помощи трех треугольных функций принадлежности и обработав совместно эту информацию с имеющейся количественной, подставим дополнительно найденный измерительный параметр (регулярность R) в модель контроля состояния передатчика. Получим новое ТС, не оговоренное ранее в ЭТД (рис. 4). Таким образом, передатчик неисправен из-за наличия регулярности скачков с достоверностью 0,752.

Новое ТС передатчика заносится в базу данных, «зашивается» в программу контроля его состояния для последующего автоматического распознавания передатчика машиной.

Таким образом, рассмотрены возможности применения компьютерных систем (программных комплексов) нечеткого логического вывода для регуляризации задачи контроля ТС сложных технических объектов, заключающейся в доопределении задачи путем привлечения дополнительной качественной информации об искомом решении с целью снятия или уменьшения возникшей неопределенности. Для математической формализации сведений, выраженных на

естественном языке, был применен аппарат теории нечетких множеств. Показано, что даже неспециализированные широко распространенные программные продукты типа Matlab дают возможность решить задачу контроля ТС СТО при возникновении НШС. Это позволяет обеспечить устойчивое решение задачи оценки ТС при НШС и частично (или полностью) исключить специалиста-аналитика из процесса контроля.

Л и т е р а т у р а

1. Галаев С. А., Потюпкин А. Ю. Регуляризация задачи контроля состояния сложных технических объектов путем использования дополнительной семантической информации // Измерительная техника. 2010. № 4. С. 41—46; **Ga-laev S. A., Potyupkin A. Yu.** Regularization of control of the state of complex technical objects through the use of ancillary semantic information // Measurement Techniques. 2010. V. 53. N 4. P. 411—418.
2. Потюпкин А. Ю. Оценивание технического состояния объектов контроля, описываемых в виде нечеткого уравнения в отношениях // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1999. № 4. С.
3. Васильев В. В., Потюпкин А. Ю. Особенности оценивания состояния сложных систем. М., 2004.
4. Мороз В. И., Ромашенко Е. К., Потюпкин А. Ю. Решение задач математической обработки результатов телеизмерений. М., 2001.
5. Дьяконов В. П. Matlab 6.5 SP1/7.0 Обработка сигналов и проектирование фильтров. М.: СОЛОН-Пресс, 2005.
6. Потюпкин А. Ю. Научно-методические основы решения задач анализа состояния объектов РКТ в условиях неопределенности. М: ВА РВСН им. Петра Великого, 2003.
7. Хиль С. Ш., Потюпкин А. Ю. Метод решения задачи контроля технического состояния летательных аппаратов с использованием нечеткой меры // Измерительная техника. 2002. № 12. С. 9—13; **Potyupkin A. Yu., Khil' S. Sh.** Method for Solving the Problem of Monitoring the Technical State of Flying Vehicles Using a Fuzzy Measure // Measurement Techniques. 2002. V. 45. N 12. P. 1215—1222.

Дата принятия 16.03. 2010 г.