

ВОЗМОЖЕН ЛИ СИНТЕЗ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ?

Обращается внимание на невозможность получения нечетких (фази) регуляторов по результатам опроса человека-оператора, если для этой цели используется теория нечетких множеств Л.А.Заде. Для построения таких регуляторов следует использовать классическую теорию вероятностей. Анализ свидетельствует, что широко представленные в публикациях нечеткие регуляторы в сущности построены на базе этой теории.

В теории автоматического управления особое внимание всегда уделялось проблеме синтеза алгоритмов систем автоматического управления (САУ) при недостаточной априорной информации о математических моделях объектов управления. Этот интерес вызван практическим опытом, который показал, что получение априорных моделей объектов обычно встречает серьезные трудности, преодолеть которые часто оказывается вообще невозможно. Более того, в [1] было показано, что для недетерминированных объектов, к числу которых могут быть отнесено большинство объектов технологических процессов, эта проблема существует всегда, из-за наличия так называемого «*системного парадокса модели объекта управления*». Естественен поэтому тот интерес, который в последнее время вызвало так называемое *фази-управление*, основанное на разработанной Л.А. Заде теории *нечетких множеств* [2,3].

Идея фази-управления основана на том, что объекты, трудно поддающиеся математическому моделированию, зачастую успешно управляются человеком-оператором. Соответственно, если произвести опрос человека-оператора (эксперта) относительно его действий во всех возможных ситуациях, и перевести эти высказывания на язык, доступный для понимания управляющими компьютерами, то будет получена САУ, работающая хотя и не наилучшим образом, но, по крайней мере, не хуже человека.

Необходимость в появлении теории нечетких множеств была вызвана тем, что человек-оператор формулирует количественные оценки значений переменных словесно в виде так называемых *лингвистических переменных* или *термов* (например, «мало», «больше» и т.п.). Перевод термов на язык компьютера производится с помощью так называемых *функций принадлежности*, которые представляют собой функция от возможных численных значений предмета оценки (*базовой переменной*), принимающие значения, заключенные между нулем и единицей. Единице соответствует полная достоверность высказывания, а нулю – полная недостоверность. Промежуточные значения функции принадлежности определяют рейтинг соответствующего высказывания. Чаще всего функция принадлежности графически изображается в виде равнобедренного треугольника, вершина которого по определению равна единице, а основание определяется диапазоном возможных изменений базовой переменной. Все термы, относящиеся к каждой переменной, собираются в ансамбль функций принадлежности. Совокупность всех требуемых *ансамблей функций принадлежности* (например, при реализации фази ПИ регулятора эта совокупность должна состоять из ансамблей отклонения регулируемой величины и ее производной, а также из ансамбля регулирующего воздействия) заносятся в память фази регулятора.

Поступающий на вход фази регулятора сигнал *фазифицируется*, т. е. определяется, какому терму принадлежит текущее его значение, после чего обрабатываются по определенному, также указанному человеком-экспертом словесному нечеткому алгоритму управления, связывающему между собой термы входного и выходного сигнала. После дефазификации выходной сигнал подается на исполнительный механизм для оказания соответствующего регулирующего воздействия на объект.

В [4 – 6] был выполнен подробный анализ САУ с фази регулятором, достаточно полное описание, которого имеется в публикациях (см., например, [7]). Этот анализ позволяет сделать достаточно общие выводы, которые, в основном сводятся к следующему.

Существуют, по-видимому, области возможного практического применения теории нечетких множеств Л.А. Заде, однако они лежат вне пределов области задач построения регуляторов, алгоритмы, функционирования которых основаны на оценках операторов-экспертов. Действительно, нечеткость значений термов в системах управления характеризуется принципиальной неспособностью эксперта указать четкое значение каждого терма. Его ответ может быть, например, таким: «Я не могу четко указать его значение; могу только сказать, что он расположен в таких-то пределах, причем наиболее вероятное его значение находится где-то посередине указанных пределов». Теория же нечетких множеств предполагает возможность построения функций принадлежности, которые содержат единичное значение, т. е. определяет четкое значение соответствующей базовой переменной. Иначе говоря, если определено значение базовой переменной, при котором функция принадлежности оказывается равной единице, то соответствующий терм перестает быть нечетким, и вообще отпадает необходимость в построении этой функции.

Предположим, однако, что (как это полагается во множестве публикаций по фазе управления) каким-то образом удалось построить ансамбли функций принадлежности для переменных системы управления. Разберемся, какой же регулятор в результате получится.

Допустим, что регулятор проектируется как дискретный с квантованием по уровню, с шагом дискретности, равным расстоянию между термами, причем регулируемая величина и другие переменные контролируются только в моменты появления их значения, при котором функция принадлежности равна единице. Поскольку равенство единице функции принадлежности свидетельствует о четком значении соответствующего терма, то, очевидно, что такой регулятор также будет обычным «четким» регулятором.

Если контроль управляемой величины производится непрерывно, следует для получения рассмотренного регулятора осуществлять округление переменных до ближайшего вводимого в регулятор дискретного значения. Можно рассматривать такое округление как интерполяцию фиксатором нулевого порядка. Более точное решение может быть получено применением более совершенной интерполяции (линейной, полиномиальной, сплайновой и т. п.). В этой связи становится ясной роль боковых (по отношению к единичному значению) составляющих функции принадлежности – с их помощью осуществляется своеобразная операция интерполяции сигналов (хотя вряд ли такой способ интерполяции обладает преимуществом перед общеизвестными). Очевидно, что применение любого способа интерполяции оставляет регулятор в классе четких. Радикальным способом повышения точности является увеличением числа сплайнов, т. е. уменьшением интервала квантования.

Таким образом, фазы регуляторы, построенные на базе методологии теории нечетких множеств Л. А. Заде, являются обычными четкими регуляторами. Поскольку квантование только ухудшает качество управления, то, вопреки иногда появляющимся утверждениям [7], следует считать снятым и вопрос преимуществ таких регуляторов перед традиционными четкими непрерывными регуляторами.

То обстоятельство, что теория нечетких множеств не дает возможности получить регулятор, способный функционировать при отсутствии априорных моделей объектов управления, вовсе не снимает существования проблемы управления такими объектами. Для ее решения следует только, сохранив рассмотренный выше подход к синтезу нечетких регуляторов, не ставить перед экспертом невыполнимого требования строить функции принадлежности – достаточно только, чтобы он указал возможный диапазон расположения терма на оси базовой переменной, а также наиболее вероятное значение этой переменной внутри этого диапазона. Математическим аппаратом для синтеза фазы регуляторов в этом случае становится *аппарат теории вероятностей* (который может быть по аналогии назван аппаратом *теории нечетких множеств Б.Паскаля*). В этом случае, вместо ансамбля функций принадлежности следует строить *ансамбль плотностей распределения вероятностей*, а также вернуться к обычным операциям пересечения и объединения множеств. Результатом работы такого регулятора будет математическое ожидание регулирующего воздействия. В [8, 9] подробно представлен порядок синтеза нечетких регуляторов на методологической базе теории вероятностей, и здесь не будем останавливаться на нем.

Следует только отметить, что в публикациях по нечетким множествам навязчиво проводится мысль о непригодности теории вероятности для описания лингвистических переменных. Приведем типичное высказывание, взятое из одного подобных источников [10]: «Используй-

ние нечетких множеств имеет большое преимущество, заключающееся в полном освобождении от ложной ассоциации со словом вероятность, а вероятности связаны со случайностью, игрой случая. Нечеткие же подмножества связаны с расплывчатостью, неопределенностью и, вообще говоря, с субъективностью. Под субъективностью понимается индивидуальная точка зрения или индивидуальное ощущение».

С подобным высказыванием нельзя согласиться. От эксперта требуется получить не просто его субъективное мнение, а мнение, основанное на опыте достаточно длительной работы по управлению рассматриваемым объектом; иначе говоря, экспертом выбирается не случайный человек «с улицы», а опытный оператор, в памяти которого сохранились примерные количественные соотношения между входными и выходными переменными объекта в процессе управления. Таким образом, здесь, в сущности, сохраняется *частотное* или *статистическое* определение вероятности, основанное на фиксации частоты появления интересующего случайного события в большом числе опытов, производимых в процессе эксплуатации объекта. Только результаты этих опытов фиксируются не на бумаге или в памяти компьютера, а в памяти человека.

К сожалению, рассмотренный подход к экспертному синтезу регуляторов методами теории вероятностей может быть практически применен только при синтезе регуляторов, предназначенных для регулирования объектов в статических режимах. Для синтеза регуляторов, работающих в динамических режимах, понадобятся оценки экспертами плотностей распределения вероятностей производных от управляемых и управляющих величин, что, по-видимому, лежит за пределами человеческих возможностей. В этом случае от эксперта можно потребовать сформулировать лишь структуру алгоритма управления в общем (буквенном) виде, оставив операцию оценки расчета численных параметров регулятора на долю формализованных методов адаптации [1, 11, 12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ротач В.Я.** Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. М.: Энергоатомиздат. 1985.
2. **Zade L.A.** Fuzzy sets. Information and Control, vol.8, 1965.
3. **Guilamo P.G.** Fuzzy Control. Measurements & Control. October 1987.
4. **Rotach V.** On the Connection Between Traditional and Fuzzy PID regulators// Proc. 6-th Zittau Fuzzy Colloquium. 1998. pp. 86-90.
5. **Ротач В.Я.** О фазы ПИД регуляторах//Теплоэнергетика, 1999. N 8. С. 32-36.
6. **Rotach V.** The Analysis of Traditional and Fuzzy PID Regulators// Proc. 8-th Zittau Fuzzy Colloquium. 2000. pp. 94-102.
7. Pivonka, M.Drejl. Use of Fuzzy PID Controllers in Fuzzy Control of Coal Power Plants// Proceedings of Fuzzy 96. Zittau. 1996.
8. **Rotach V.** An expert Estimate of Control Algorithms Using Methods of Fuzzy Logic and Probability Theory// Proc. 9-th Zittau Fuzzy Colloquium. 2001. pp. 105-113.
9. **Ротач В.Я.** Экспертная оценка алгоритмов управления методами нечеткой логики и теории вероятностей//Теплоэнергетика, 2002. N 4. С.51-56.
10. **Negoita C. V.** Management Applications of System Theory. Birkhauser Verlag, Basel und Stuttgart. 1979.
11. **Rotach V.** Expert Methods in the Theory of Automatic Control. In: Fuzzy Control – Theory and Practice. Physica-Verlag. Heidelberg. 2000. pp. 200-205.
12. **Rotach V.** Qualitative Expert Estimation of Control Algorithms and Their Optimization by the Method of the Modified Theory of Adaptation. // Proc. 10-th Zittau Fuzzy Colloquium. 2002. pp. 149-155.