Интеллектуальные системы
2005. №1(9)

УДК 681.51

© 2005 г. **Н.Г. Долгова**
(Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)

СТАБИЛИЗАЦИЯ СУДНА С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА

В данной работе для управления судном синтезируется нечеткий логический регулятор. Изучается устойчивость замкнутой системы и моделируется процесс управления.

Введение

Для решения задачи управления, как правило, используют математическую модель управляемого объекта [1]. Однако в ряде случаев трудно построить адекватную математическую модель для сложного объекта. В то же время с задачей управления достаточно легко справляется опытный оператор, не используя при этом никаких аналитических моделей. Для формализации такого опыта применяются методы нечеткой логики [2, 3]. Данный математический аппарат описывает свойства нечетких систем, соответствующих трудно формализуемым, плохо структурированным задачам.

В настоящей статье рассматривается задача построения нечеткого логического регулятора (FLC – fuzzy logic controller) [2] для стабилизации судна. Такой регулятор должен обеспечивать устойчивость управляемой системы. В данной задаче для исследования устойчивости может быть применен круговой критерий [4]. Моделирование процесса управления иллюстрирует работу стабилизирующего регулятора.

Нечеткий логический регулятор

Приведем некоторые определения теории нечетких множеств [2]. *Нечетким множеством* A на универсальном множестве X называется совокупность пар $(\mu_A(x), x)$, где $\mu_A(x)$ – функция, каждое значение которой $\mu_A(x) \in [0,1]$ интерпретируется как степень принадлежности элемента $x \in X$ множеству A; $\mu_A(x)$ называется *функцией принадлежности.*

Лингвистической переменной называется переменная, значениями которой могут быть слова или словосочетания.

Терм-множеством называется множество всех возможных значений лингвистической переменной.

Термом именуется любой элемент терм-множества. В теории нечетких множеств терм формализуется нечетким множеством.

Дефазификация – процедура преобразования нечеткого множества в четкое число. Существует множество дефазификационных методов. Все они базируются на эвристических идеях, подобной следующей: «будем выбирать управляющее действие, соответствующее максимальному значению функции принадлежности».

Ключевым моментом при построении FLC является конструирование базы знаний – набора логических правил типа «*если – то*», связывающих управляющее воздействие с выходом управляемого объекта. Обычно для создания базы знаний используется интервьюирование опытного оператора либо фиксирование решений, принимаемых оператором в различных ситуациях.

Например, для рассматриваемой задачи: если судно отклонилось от курса *немного вправо*, то, очевидно, мы захотим повернуть руль *немного влево*, чтобы выправить курс. Если мы теперь хотим поддерживать определенный курс при помощи FLC, нужно только интерпретировать понятия «*немного вправо»* и «*немного влево»* как значения лингвистических переменных («отклонение судна от курса» и «угол поворота руля») и записать правила, связывающие их. Например:

если отклонение судна от курса = «*немного вправо»,*

то угол поворота руля = «*немного влево».*

После того как определена база знаний, стартует вычислительный процесс, в результате которого мы получаем нечеткое множество возможных управляющих действий, соответствующее выходной лингвистической переменной. Применяя процедуру дефазификации, преобразуем полученное нечеткое множество в «четкий» выходной сигнал (угол поворота руля в радианах).

Таким образом, FLC реализует три процесса: вход → преобразование входной переменной в лингвистическую → вычисление с использованием базы знаний значения выходной переменной в виде нечеткого множества → дефазификация [2].

Пакет Fuzzy Logic Toolbox, входящий в состав системы MatLab, позволяет в диалоговом режиме выбирать количество входов и выходов модели FLC, задавать количество термов и типы функций принадлежности, формировать базу знаний, выбирать дефазификационный метод.

Для одной входной – y и выходной – f лингвистических переменных используем следующие обозначения термов:

NB – отрицательное большое, PB – положительное большое,
NM – отрицательное среднее, PM – положительное среднее,
NS – отрицательное малое, PS – положительное малое,

ZE – нуль.

Функции принадлежности для входной и выходной переменных представлены на рис. 1.

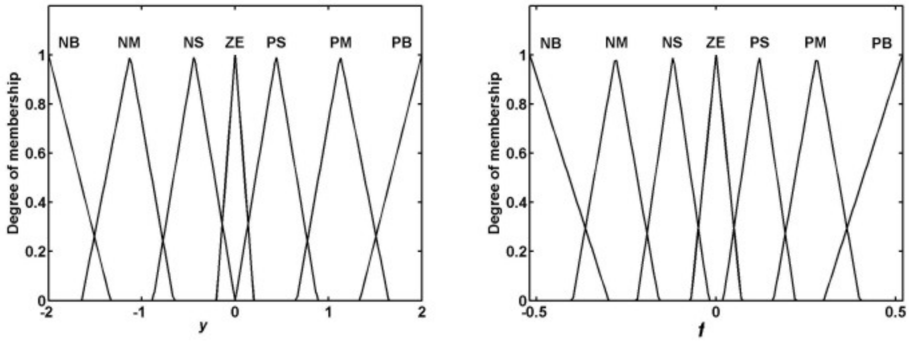


Рис. 1. Функции принадлежности для входной и выходной переменных.

В таблице приведена база знаний нечеткого логического регулятора.

	y						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
f(*y*)	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB

Выберем некоторое значение входной переменной $y = y_1$. Пусть значению y_1 соответствуют лингвистические переменные NS с функцией принадлежности, равной, например, 0.1, и ZE с функцией принадлежности, равной 0.6. Согласно нашей базе знаний этой входной переменной соответствуют два правила (они выделены в таблице серым цветом). Ограничим функции принадлежности выходных лингвистических переменных значениями функций принадлежности входных переменных $\mu_1 = \min\{0.1, \mu_{NS}(f)\}$, $\mu_2 = \min\{0.6, \mu_{ZE}(f)\}$.

Используя операцию объединения, находим результирующую функцию принадлежности $\mu^{result} = \max\{\mu_1, \mu_2\}$.

Теперь нечеткое множество должно быть преобразовано в «четкий» выходной сигнал. Для этого воспользуемся дефазификационным методом «центр площади» (COA-center of area) [2]. При нем значение выходного сигнала выбирается соответствующим центру площади под функцией принадлежности, нормированной на значение функции принадлежности

$$f^{COA} = \frac{\int_f f \cdot \mu^{result}(f)df}{\int_f \mu^{result}(f)df}.$$

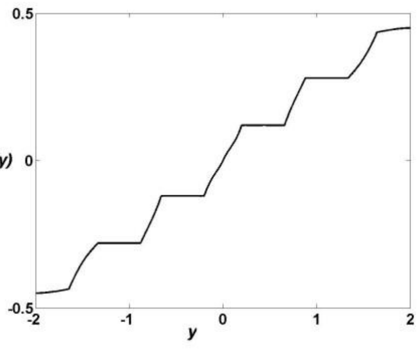


Рис. 2. Закон управления.

График полученного таким образом закона управления представлен на рис. 2.

Условия устойчивости

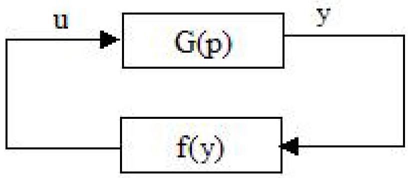


Рис. 3. Замкнутая система.

Полученный с помощью нечеткого логического регулятора закон управления представляет собой некую нелинейную функцию (см. рис. 2). Анализ устойчивости нелинейной системы может быть осуществлен на основе теории абсолютной устойчивости. Эта теория оперирует с замкнутыми системами, общий вид которых представлен на рис. 3 и может быть записан следующим образом:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu, \quad y = Cx, \tag{1}$$

$$u = f(y). \tag{2}$$

Уравнения (1) описывают линейную часть системы, где $G(s) = C(sI - A)^{-1}B$ – ее передаточная функция. Уравнения (2) – нелинейную часть – регулятор. В нашей задаче в качестве регулятора выбран FLC. Из рис. 2 видно, что регулятор представляет собой секторную функцию, удовлетворяющую условию

$$\mu_1 y \le f(y) \le \mu_2 y, \; f(0) = 0,$$

при некоторых $\mu_1 > 0; \mu_2 > 0$.

Устойчивость замкнутой системы (1), (2) может быть проверена при помощи следующей теоремы (круговой критерий) [4]. Пусть выполнены условия:

рассматриваемая система стабилизируема, то есть существует такой регулятор $u = \mu_0 y$, $\mu_0 \in [\mu_1, \mu_2]$, при котором линейная система (1) асимптотически устойчива;

выполняется частотное условие

$$\mathrm{Re}\{(1 - \mu_1 G(j\omega))^* (1 - \mu_2 G(j\omega))\} > 0, \quad \forall \omega. \tag{3}$$

Тогда система (1), (2) равномерно асимптотически устойчива.

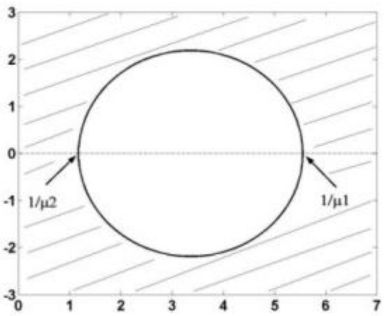


Рис. 4. Частотная область.

Замечание. Частотное условие (3) может быть сформулировано так: при всех $\omega \in [-\infty, +\infty]$ кривая $z = G(j\omega)$ (годограф) лежит в области

$$\mathrm{Re}\{(1 - \mu_1 z)^* (1 - \mu_2 z)\} > 0 \;. \tag{4}$$

Граница области (3) – окружность

$$\mathrm{Re}\{(1 - \mu_1 z)^* (1 - \mu_2 z)\} = 0 \;,$$

проходящая через точки $z = \mu_1^{-1}$ и $z = \mu_2^{-1}$ и имеющая центр, расположенный на действительной оси. Для $\mu_1 > 0; \mu_2 > 0$ область (4) – внешность круга (рис. 4).

Применим данный критерий для анализа устойчивости замкнутой системы, состоящей из судна и FLC.

Движение судна может быть описано дифференциальным уравнением второго порядка

$$\ddot{\varphi} - \dot{\varphi} = -au, \tag{5}$$

где a – параметр; φ – угол поворота судна ($\varphi = 0$ соответствует движению по курсу); $u(t)$ – угол поворота руля.

Управление судном будем осуществлять с помощью описанного нечеткого логического регулятора с одной входной переменной вида:

$$y = \alpha\varphi + \beta\dot{\varphi}.$$

Для системы (1), (2) с нечетким логическим регулятором первое условие кругового критерия сводится к существованию μ_0, удовлетворяющего неравенству:

$$\frac{1}{a\beta} < \mu_0,\ \mu_0 \in [\mu_1, \mu_2], \tag{6}$$

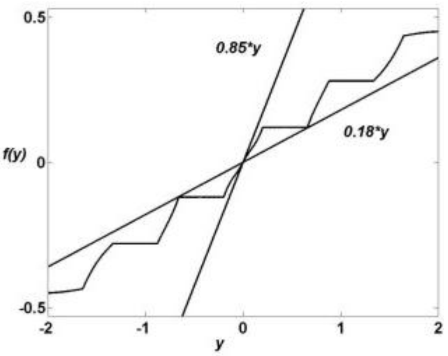


Рис. 5. График функции $f(y)$ и границы сектора.

а второе условие эквивалентно расположению годографа

$$G(p) = -\frac{a(\alpha + \beta p)}{p(p-1)}$$

вне области круга (рис. 4).

Пусть, например, параметр судна $a = 200$. Выберем $\alpha = 0.8$; $\beta = 0.1$.

Для регулятора, представленного на рис. 2, границам сектора соответствуют числа $\mu_1 = 0.18$; $\mu_2 = 0.85$ (рис. 5). Очевидно, что условие (6) для таких μ_1, μ_2 выполняется. Действительно, любое $\mu_0 \in [0.18; 0.85]$ будет удовлетворять условию $0.05 < \mu_0$.

Построим теперь годограф и границу частотной области.

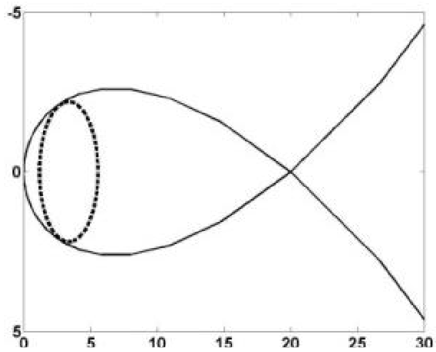
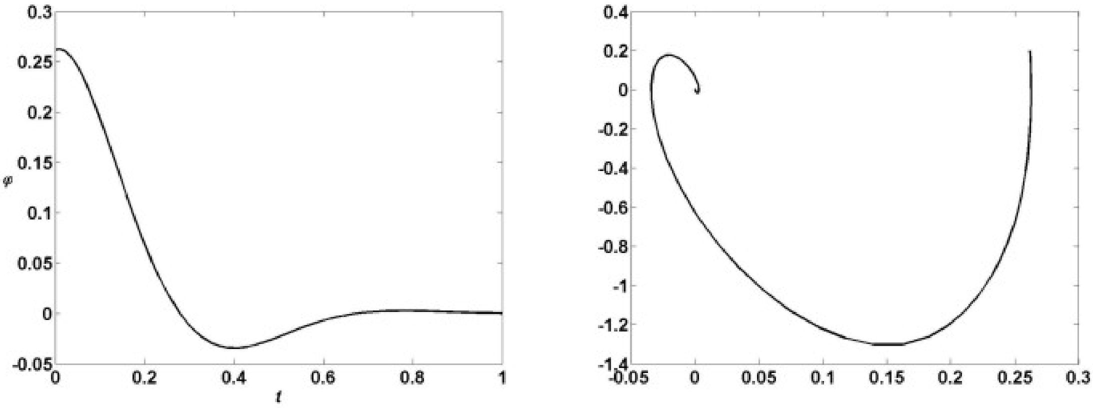


Рис. 6. Годограф и граница частотной области.

Как видно из рисунка, годограф расположен вне круга – границы частотной области (видимые на рисунке деформация окружности и точки соприкосновения годографа и окружности – результат масштабирования). Таким образом, для рассматриваемого регулятора все условия устойчивости оказываются выполненными. И, следовательно, такой регулятор будет обеспечивать устойчивость замкнутой системы (1), (2).

Математическое моделирование

Приведем результаты моделирования рассматриваемой системы. Моделирование проводилось в среде математического программного пакета MatLab. По результатам строились график зависимости курса судна от времени и фазовая траектория (рис. 7).



а) б)

Рис. 7. График зависимости курса судна от времени и фазовая траектория.

Для сравнения рассмотрим другой нечеткий логический регулятор. Пусть теперь количество термов для входной и выходной лингвистических переменных равно 11. Количество правил в базе знаний – 11. Проверим для такого регулятора выполнимость условий устойчивости.

В этом случае границам сектора соответствуют числа

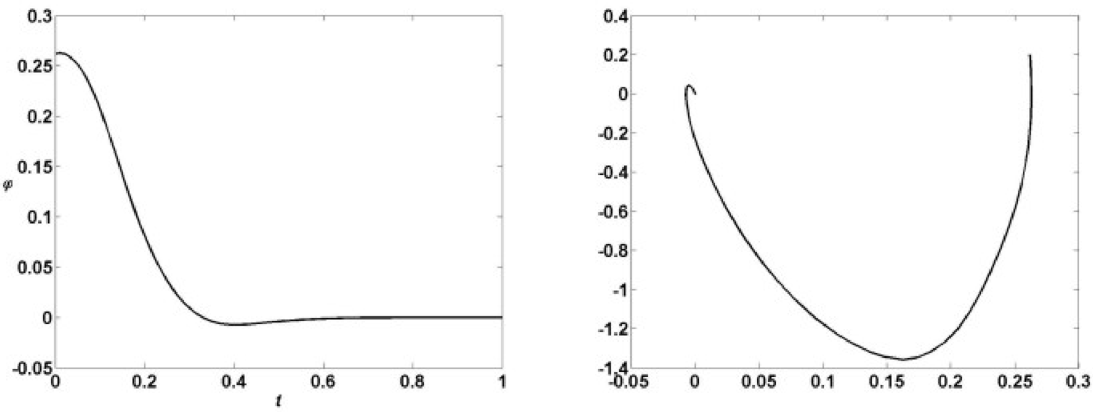
$$\mu_1 = 0.24;\ \mu_2 = 1.4$$

и для них условие (6) выполнено

$$0.05 < \mu_0;\ \mu_0 \in [0.24; 1.4].$$

Иллюстрацию выполнимости второго условия приводить не будем, поскольку качественных различий с рис. 6 нет (сдвинется центр окружности и изменится ее радиус). Итак, все условия устойчивости выполнены, и этот регулятор также может быть применен для стабилизации судна.

Результаты моделирования представлены на рис. 8.



а) б)

Рис. 8. График зависимости курса судна от времени и фазовая траектория.

Из приведенных выше графиков можно видеть, что при увеличении числа правил улучшается качество регулирования.

Заключение

В работе была поставлена и решена задача построения нечеткого логического регулятора для стабилизации судна. Найденный регулятор обеспечивает устойчивость замкнутой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Неймарк Ю.И.* Динамические модели теории управления // Ю.И. Неймарк, Н.Я. Коган, В.П. Савельев. М.: Наука, 1985.
2. *Zimmermann H.J.* Fuzzy Set Theory And Its Applications// H. J. Zimmermann. Kluwer Academic Publishers , third edition, 1996.
3. *Vaneck T.W.* Fuzzy Guidance Controller for an Autonomous Boat/ T. W. Vaneck. IEEE Control Systems, april 1997.
4. *Гелиг А.Х.* Устойчивость нелинейных систем с неединственным состоянием равновесия// А.Х. Гелиг, Г.А. Леонов, В.А. Якубович. М.: Наука, 1978.

Статья представлена к публикации членом редколлегии М.М. Коганом.

УДК 004.5

© 2005 г. **А.В. Тарасов**
(Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН, Владивосток)

МОДЕЛЬ ВЫРАЗИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИНТЕРФЕЙСА ПРИ ЕГО РАЗРАБОТКЕ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЙ

В работе представлена модель выразительных средств пользовательского интерфейса, которая является компонентом модели интерфейса в онтологоориентированном подходе при его разработке. Описаны требования к модели, а также методы ее реализации.

Введение

Интерфейс пользователя является неотъемлемым компонентом большинства программных систем. Существующий рынок программных средств предлагает различные инструменты для его разработки.

Широко используемые в настоящее время Interface Builders [1] (по-