

Алави Сайед Энаятоллах, аспирант; Петренко Ю. Н., доцент,
Белорусский национальный технический университет

КОНТРОЛЛЕР ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Positioning control systems are widely used in the industry of the polygraph equipment and in the industry of the printed manufacturing like plotters. Non-linearity is the general characteristic property of such systems. The most typical example of such an equipment is overhead cranes which have the potential of handling loads of hundreds of kilograms and are widely used in factories. The time taken to transport loads from one point to another and also to unload them is of the essence, where each hour gained represents an important time saving operation. A non-linear model for an overhead crane system is derived which takes into account a combination of a trolley and a pendulum. A hand crafted fuzzy controller, which includes two rule-bases, one for position control, the other one for sway-angle control, was designed and successfully implemented on this model. Preliminary results are encouraging and indicate the feasibility of such a two-rule-base control strategy. The results obtained are presented, analysed and discussed.

Введение. Современные системы автоматизации полиграфического оборудования основаны на использовании электроприводов с двигателями различной конструкции: асинхронных, синхронных с постоянными магнитами, постоянного тока и т. д. При этом многие механизмы работают в режиме отработки позиции или заданной траектории (например графопостроители) и характеризуются нелинейным характером взаимосвязи координат.

Обеспечение отработки позиции при оптимальном законе регулирования или заданной траектории с необходимой точностью требуют формирования сложных законов управления. С этой целью применяются достаточно сложные регуляторы, работающие в замкнутых системах. Наиболее распространены традиционные регуляторы, работающие на основе PID-законов регулирования. Они способны обеспечить практически любую точность при заданных параметрах системы регулирования. Сложность, однако, заключается в том, что параметры системы могут изменяться в зависимости от условий эксплуатации. Кроме того, трудности возрастают при заведомо нелинейном характере системы, в том числе и исполнительного двигателя.

Одним из решений является релейный регулятор («банг» – «банг», [1]). Релейный алгоритм прост и относится к алгоритмам простого действия.

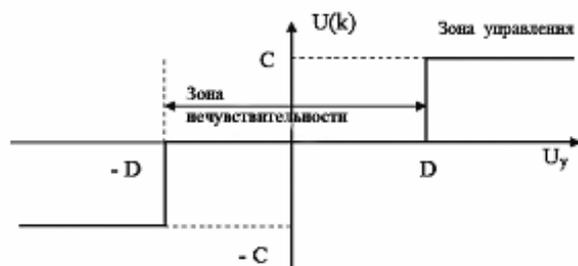


Рис. 1. Принцип релейного управления

Его можно описать следующим образом

$$\begin{aligned} u(k) &= 0 && \text{при } |U_y| < D \\ u(k) &= -C && \text{при } |U_y| < -D \\ u(k) &= C && \text{при } |U_y| > D \end{aligned} \quad (1)$$

где $u(k)$ — выход контроллера на k -м шаге итерации алгоритма управления.

Контроллеры нечеткой логики (КНЛ) являются продуктом (формой) искусственного интеллекта, интенсивно развивающейся в последнее время областью исследований. Принципы нечеткой логики (НЛ) были сформулированы Лахти Заде, профессором Калифорнийского университета в Беркли в 1965 г. [2]. Главным свойством нечеткой логики является использование лингвистических переменных в отличие от дискретных (булевых). Лингвистические переменные описываются естественным языком или языком естественных выражений, такие как «большой» – «маленький»; «холодный» – «горячий» и др. Эти переменные представляются в виде набора, называемого нечетким множеством (Fuzzy set) [3].

Нечеткое множество переменных A характеризуется функцией принадлежности μ_A , которая применима к любому объекту определенного (данного) класса степени принадлежности множества.

Самым естественным образом степень принадлежности находится в пределах от 0 (отсутствие принадлежности) до 1 (полная принадлежность), что позволяет записать

$$\mu_A : x \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

что означает, что нечеткое множество A принадлежит универсуму (набору) X , определенному для конкретной проблемы.

Нечеткое множество A называется одноэлементным множеством (singleton), когда имеется лишь один элемент x_0 , такой что $\mu_A(x_0) = 1$,

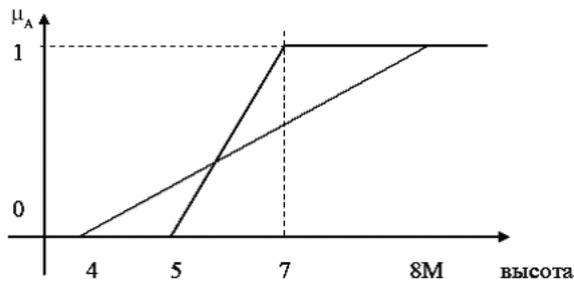


Рис. 2. Функция принадлежности нечеткого множества «высота»

в то время как все другие элементы множества оцениваются нулевым значением.

Например, если высоту дома обозначить X лингвистическая переменная ВЫСОКИЙ может быть отнесено к нечеткому множеству с пределами существования $0 \dots 1$ и которое имеет функцию принадлежности μ_A , приведенную на рис. 2. По этому определению все дома, которые имеют высоту более 7-ми метров имеют функцию принадлежности равную 1, в то время как дома высотой менее 5-ти метров имеют нулевое значение функции принадлежности. Таким образом, в этом определении дом высотой 6 метров имеет $\mu_A = 0.5$ (степень функции принадлежности), кривая 1, рис. 2. В тоже время по мнению экспертов функция принадлежности μ_A может иметь и иной вид, например кривая 2 (рис. 2).

Такой подход позволяет характеризовать поведение системы путем простых соотношений (нечетких правил — fuzzy rules) между лингвистическими переменными. В принятой практике [2] нечеткие правила выражаются в форме нечетких положений (fuzzy conditional statements) Ri типа

Ri: ЕСЛИ x имеет малое значение ТОГДА y имеет большое значение.

Если имеется n правил, тогда набор правил представляется объединением этих правил

$R = R1$ в противном случае $R2$, в противном случае... Rn .

КНЛ основан на комплекте R правил управления. Реализация этих Правил осуществляется композиционным правилом выходных переменных.

Обобщенная структура КНЛ приведена на рис. 3 и содержит четыре принципиальных составляющих: 1) блок фазификации, задачей которого является преобразование входных величин в соответствующие входные лингвистические переменные; 2) блок базы знаний, состоящий из базы данных, необходимых лингвистических определений и набора правил управления; 3) блок логики принятия решений, делающий заключение о нечетком управлении на основе базы знаний правил управления и определений лингвистических переменных; 4) блок дефазификации, который преобразует лингвистические переменные в сигналы управления объектом.

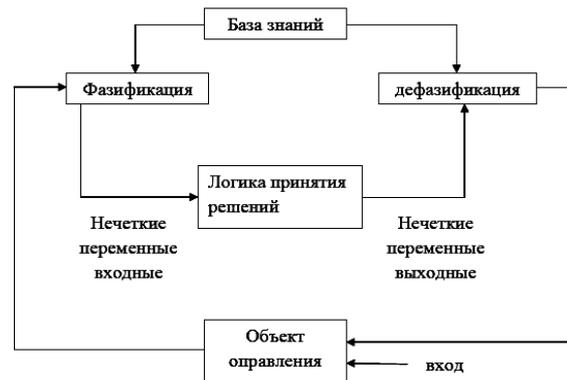


Рис. 3. Структура контроллера нечеткой логики

Основная часть. Перегрузочный кран представляется расчетной моделью согласно рис. 4.

На рис. 4 обозначено:

- P — прилагаемое усилие, (N);
 - f — коэффициент трения о рельсы, (Ns/m);
 - T — натяжение каната, (N);
 - k — коэффициент трения о воздух, (Ns/m);
 - v — результирующая скорость точки массы m , (m/s);
 - M — масса тележки, (kg);
 - l — длина каната, (m);
 - m — масса груза, (kg);
 - $\dot{\theta}$ — угловая скорость точки массы, (rad/s);
 - \dot{x} — скорость перемещения тележки, (m/s).
- Принимая массу тележки M , можно записать

$$P - f \cdot \dot{x} + T \sin \theta = M \cdot \ddot{x} \quad (3)$$

Рассматривая силы, приложенные к массе m , получим

$$\sum F = m \cdot \ddot{x}' \quad (4)$$

где \ddot{x}' — результирующее ускорение точки массы m или

$$-T \sin \theta - k \cdot v \cdot \cos \alpha = m \ddot{x}' \quad (5)$$

Результирующее ускорение точки массы m может быть записано в форме:

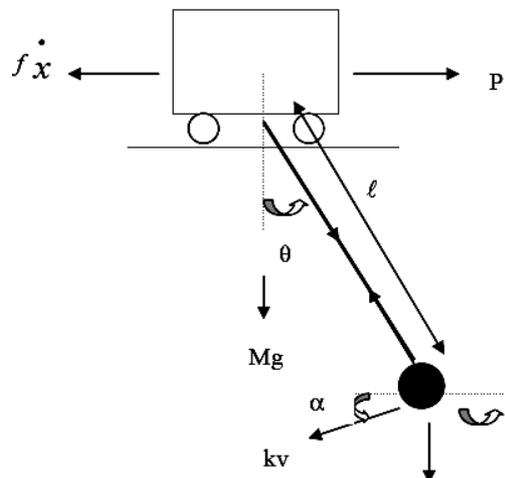


Рис. 4. Расчетная модель перегрузочного крана

$$\dot{x}' = \ddot{x} + l\ddot{\theta} \cos \theta - l\dot{\theta}^2 \sin \theta \quad (6)$$

Тогда (5) получим в виде:

$$-T \sin \theta - k.v. \cos \alpha = m (\ddot{x} + l\ddot{\theta} \cos \theta - l\dot{\theta}^2 \sin \theta) \quad (7)$$

Используя (3), уравнение (7) имеет вид:

$$(M + m) \ddot{x} = P - f.\dot{x} - kv \cos \theta - m.l.\ddot{\theta} \cos \theta + m.l.\dot{\theta}^2 \sin \theta \quad (8)$$

Принимая во внимание все усилия, действующие в точке массы m как показано на рис. 5, можно записать

$$\sum Torque = I.\ddot{\theta} \quad (9)$$

где I — момент инерции. Следовательно, для фиксированной точки O справедливо уравнение

$$m.l.\ddot{\theta} = -m.g.\sin \theta - kv \cos(\theta - \alpha) - m.\ddot{x} \cos \theta \quad (10)$$

Уравнения (8)–(10) представляют динамическую модель крана, представленного на рис. 4. В дальнейшем будем использовать ряд допущений:

- Масса каната пренебрежимо мала по сравнению с массой груза.
- Во время движения крана длина каната остается неизменной.

Проектирование контроллера. Ниже представлена процедура проектирования контроллера управления движением на основе нечеткой логики. В первую очередь определяются соответствующие лингвистические переменные, в качестве которых приняты положение тележки и угол наклона каната. Переменные представлены следующими нечеткими категориями (термами): «Отрицательное» – «Negative»(N); «Положительное» – «Positive»(P); «Большое» – «Big»(B); «Маленькое» – «Small»(S); «Ноль» – «Zero»(Z). Сформулированы базы нечетких правил для управления положением и для управления углом отклонения каната. Необходимо заметить, что стратегия управления содержит два этапа. В начале производится обращение к табл. 1 и реализуется управление

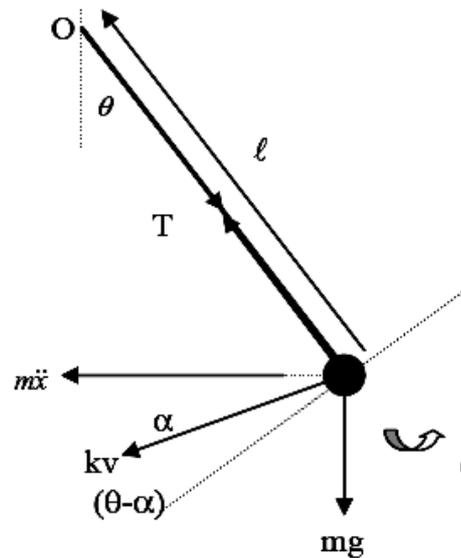


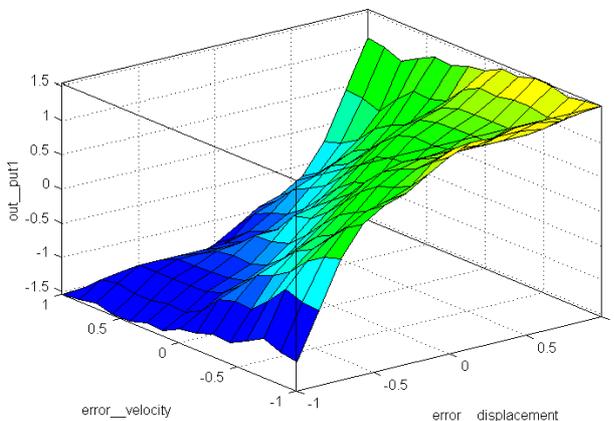
Рис. 5. Схема приложения сил к массе m

Таблица 1
База нечетких правил для управления положением

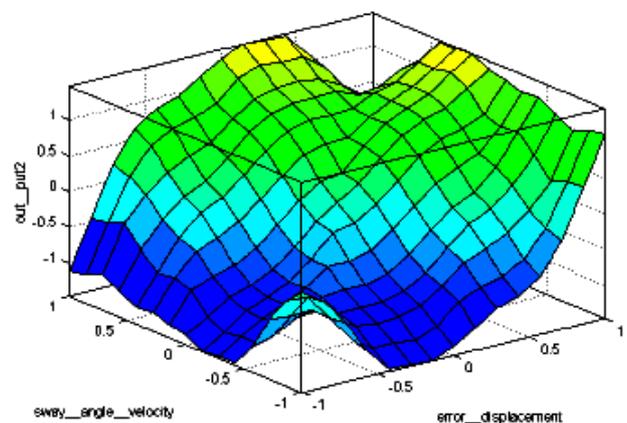
		e_x				
		NB	NS	Z	PS	PB
\dot{x}	NB	NB	PS	PB	PB	PB
	NS	NB	Z	PS	PS	PB
	Z	NB	NS	Z	PS	PB
	PS	NB	NS	NS	Z	PB
	PB	NB	NB	NB	NS	PB

Таблица 2
База нечетких правил для управления углом отклонения

		e_x				
		NB	NS	Z	S	PB
$\dot{\theta}$	NB	Z	NB	NB	NS	PB
	NS	NB	NS	NS	Z	PB
	Z	NB	NS	Z	PS	PB
	PS	NB	Z	PS	PS	PB
	PB	NB	PS	PB	PB	Z



а



б

Рис. 6. Поверхности управления, демонстрирующие правила согласно: а) таблице 1 и б) таблице 2

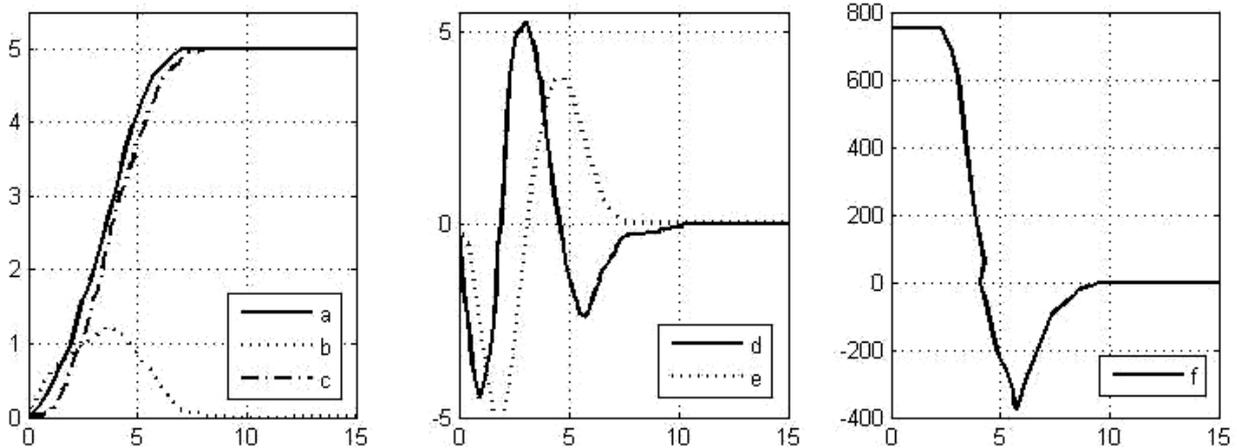


Рис. 7. Динамические процессы при перемещении груза массой 250 кг на расстояние 5 м: а — перемещение тележки, м; б — скорость тележки, м/с; с — перемещение груза, м; d — угол груза, град; е — угловая скорость груза, град/с; f — усилие воздействия на тележку, Н

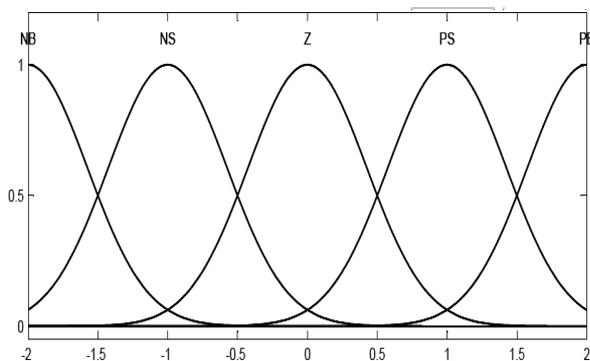


Рис. 8. Вид функции принадлежности которые представлены в виде таблиц 1 и 2 соответственно. Обе базы правил содержат по 25 правил

положением, а затем к табл. 2 и осуществляется управление углом. В итоге, на рис. 3 показаны поверхности управления, демонстрирующие действие этих двух правил. Нелинейный характер правил проявляется в плоском характере поверхностей вблизи точки равновесия.

Результаты моделирования. Исследование динамических процессов при управлении системой с помощью КНЛ и при перемещении груза массой 250 кг на расстояние 5 м выполнено на математической модели с использованием пакета Matlab-Simulink. Результаты моделирования приведены на рис. 7.

Как это следует из рис. 7 (а, б), тележка перемещается в заданную позицию (5 м) за 7,5 с; перемещение груза следует с некоторым отставанием; при этом скорость тележки изменяется по сложному закону, формируемому контроллером. В тоже время угловое положение груза во время перемещения меняет знак, (кривая d), достигая, как и скорость, нулевого значения в конце процесса через 10 с. Формирование усилия (кривая f), обеспечивающего процесс позиционирования с помощью КНЛ, показано кривой f.

Выводы. Предложено проектирование контроллера нечеткой логики для обеспечения

бесколебательного управления перегрузочным краном. Контроллер содержит две базы правил, одна для управления положением, а вторая для управления углом отклонения груза. Динамические свойства системы исследованы на математической модели с использованием пакета Matlab-Simulink. Результаты моделирования показывают, что перемещаемый груз не имеет колебаний вблизи точки позиционирования.

Литература

1. Кабанов, С.А. Управление системами на прогнозирующих моделях / С. А. Кабанов. — СПб: Изд-во С.-Петербургского университета, 1997. — 200 с.
2. Zadeh, L. A. Outline of a new approach of the analysis of complex system and decision processes / L. A. Zadeh. — IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.. Vol. SMC-3. No. 1, 1963. — P. 28–44.
3. Bimal K. Base. Power Electronic and Variable Frequency Drives: Technology and applications. — New York, 1997. — 640 p.
4. Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 736 с.