

М. В. Бобырь, д-р техн. наук, профессор, fregat_mn@rambler.ru,

М. Ю. Лунева, аспирант, marinok-l@yandex.ru, **К. А. Ноливос**, магистрант, cris_93_bep@hotmail.com,
Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Нечеткий цифровой фильтр для управления роботом-манипулятором ARMinO¹

Рассмотрены принцип работы устройства робота-манипулятора ARMinO и схема подключения его электрических компонентов. В состав устройства входят: управляющая плата Arduino Mega, четыре сервопривода, четыре потенциометра, макетная плата, компьютер. Поворот ручек потенциометра регулирует положение шпинделей сервоприводов. При изменении напряжения на ножке потенциометра изменяется напряжение на аналоговых входах микроконтроллера. Затем в микроконтроллере напряжение масштабируется в значение угла поворота сервопривода, после этого осуществляется поворот звеньев робота-манипулятора. В процессе работы устройства робота-манипулятора ARMinO возникла проблема дребезга контактов, значительно уменьшающая точность позиционирования и плавность хода звеньев ARMinO. Для решения этой проблемы был разработан нечеткий цифровой фильтр.

Описан алгоритм работы цифрового фильтра, состоящего из четырех шагов. Одним из шагов является нахождение коэффициентов цифрового фильтра, от которых зависят уровень напряжения, передаваемого на сервоприводы сигнала, и время переходного процесса формирования фронтов этого сигнала. Основной проблемой при реализации цифрового фильтра является тот факт, что при стандартной методике нахождения коэффициентов цифрового фильтра его коэффициенты задаются диапазоном рекомендуемых значений, что затрудняет выбор из этого диапазона единственного значения и передачи его на сервоприводы. Для решения этой проблемы был разработан нечеткий цифровой фильтр, алгоритм работы которого состоит из шести шагов. На первом шаге определяются степени истинности входных переменных. Второй шаг — это расчет степеней истинности предпосылок нечетких правил. На третьем шаге осуществляется расчет степеней истинности заключений нечетких правил с помощью операции нахождения максимумов. Четвертым шагом является этап дефаззификации, при котором осуществляется расчет четкого значения коэффициента нечеткого цифрового фильтра. На пятом шаге находится выходное напряжение, передаваемое на сервоприводы. На последнем шаге выходное напряжение в микроконтроллере преобразуется в значение угла поворота и сервоприводу дается команда для поворота.

Представлено численное моделирование алгоритма работы нечеткого цифрового фильтра на примере работы сервопривода, перемещающего основание ARMinO.

Проведены экспериментальные исследования функционирования нечеткого цифрового фильтра, подтверждающие целесообразность его использования. Приведены графики переходного процесса движения основания робота-манипулятора без применения и с применением нечеткого цифрового фильтра.

Ключевые слова: дребезг контактов, робот-манипулятор, сервоприводы, нечеткий цифровой фильтр

Введение

В промышленности широко используются роботы-манипуляторы. В работе [1] рассмотрена проблема управления роботом-манипулятором в среде с неполной информацией. В статье [2] предлагается аналитический метод синтеза нечетких регуляторов с нечеткой TS-моделью для управления манипулятором робота с гибким соединением. В исследовании [3] предложен и описан комплект модулей мобильной робототехники и отладки алгоритмов управления. В данных работах уделено мало внимания обеспечению плавности хода звеньев робота-манипулятора. Плавность хода при управлении роботом-манипулятором в ручном режиме зависит от изменения электрического напряжения. Простейшим преобразователем электри-

ческого напряжения является потенциометр. При использовании потенциометров часто бывают ситуации, когда из-за мелких неровностей контактов в месте соединения они не соприкасаются. Из-за этого происходит несколько срабатываний вместо одного, что неизбежно приводит к дребезгу контактов [4]. В системах управления роботом-манипуляторов дребезг контактов уменьшает точность позиционирования и плавность движений звеньев манипулятора. Одним из способов решения этих проблем является программная фильтрация сигнала [5]. При использовании цифрового фильтра выходной сигнал зависит не только от текущего значения электрического напряжения, но и от предыдущего состояния. Однако при этом возникают задачи регулирования времени переходного процесса с помощью коэффициентов цифрового фильтра. В статье рассмотрен метод регулирования коэффициентов цифрового фильтра на основе нечеткой логики.

¹Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-707.2017.8 и Госзадания: Соглашение № 2.3440.2017/4.6.

Принцип работы устройства робота-манипулятора

Для исследования задачи управления и повышения точности позиционирования звеньев робота-манипулятора была разработана экспериментальная модель робота-манипулятора ARmino на базе микроконтроллера Arduino Mega, представленная на рис. 1, а (см. третью сторону обложки) [6].

В состав устройства робота-манипулятора ARmino входят: управляющая плата Arduino Mega 2560, четыре серводвигателя SG-90, четыре потенциометра 10 кОм, макетная плата, соединительные провода, блок питания, осциллограф, компьютер. Компьютер используется для программирования управляющей платы Arduino Mega в среде Arduino IDE 1.6.8. Принцип работы устройства робота-манипулятора заключается в следующем. Вращение ручек потенциометров от 0 до 10 кОм регулирует положение шпинделей сервоприводов SG-90. При изменении напряжения на ножке потенциометра изменяется напряжение на аналоговых входах микроконтроллера Arduino Mega. Затем в микроконтроллере напряжение масштабируется в значение угла поворота, после чего сервоприводу дается команда для поворота. В ходе экспериментальных исследований было обнаружено, что вращение и/или перемещение звеньев робота-манипулятора происходит прерывисто, что значительно уменьшает точность их позиционирования. Данная проблема связана с дребезгом контактов. Одним из вариантов решения вышеуказанной проблемы является использование цифрового фильтра. В цифровых фильтрах выходной сигнал зависит не только от текущего, но и от предыдущего значения напряжения. За счет этого происходит сглаживание выходного сигнала.

Общая модель цифрового фильтра

Цифровой фильтр — это математический алгоритм, реализованный на программном или аппаратном уровне [7], который искусственно снижает амплитуду выходного сигнала в целях компенсации дребезга контактов с помощью коэффициентов регулирования α и β . Коэффициенты регулирования модифицируют напряжение, передаваемое на исполнительные механизмы робота-манипулятора, которое определяется по формуле

$$U_{\text{фильтр}} = \alpha U_{\text{пред}} + \beta U_{\text{тек}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{пред}}$, $U_{\text{тек}}$ — предыдущее и текущее значения напряжения, полученные от потенциометра.

Алгоритм расчета коэффициентов цифрового фильтра состоит из четырех шагов.

Шаг 1. Расчет коэффициента выборки N по формуле

$$N = \frac{T_{\text{пп}}}{T} = \frac{20,2}{1,44} = 14,028, \quad (2)$$

где T — период следования импульса; $T_{\text{пп}}$ — время переходного процесса. Экспериментально было установлено, что $T = 1,44$ мс, $T_{\text{пп}} = 20,2$ мс.

Шаг 2. Расчет минимального и максимального коэффициентов точности цифрового фильтра $N\tau_{\text{min}}$ и $N\tau_{\text{max}}$:

$$\begin{aligned} N\tau_{\text{min}} &= \ln\left(\frac{1}{5\% U_{\text{вых}}}\right) = 1,386; \\ N\tau_{\text{max}} &= \ln\left(\frac{1}{0,01\% U_{\text{вых}}}\right) = 7,6, \end{aligned} \quad (3)$$

где $U_{\text{вых}}$ — максимальный выходной сигнал на выходе микроконтроллера ($U_{\text{вых}} = 5$ В).

Шаг 3. Расчет диапазона значений коэффициентов цифрового фильтра α и β по формулам

$$e^{(-N\tau_{\text{max}}/N)} \leq \alpha \leq e^{(-N\tau_{\text{min}}/N)}; 0,51 \leq \alpha \leq 0,91; \quad (4)$$

$$\beta = \alpha - 1; 0,01 \leq \beta \leq 0,49. \quad (5)$$

Шаг 4. Расчет напряжения, передаваемого на сервоприводы. Например, при $\alpha = 0,091$, $\beta = 0,01$ и $U_{\text{пред}} = 150$, $U_{\text{тек}} = 78$ напряжение, передаваемое на сервоприводы, будет равно

$$U_{\text{фильтр}} = 150 \cdot 0,91 + 78 \cdot 0,01 = 137,28.$$

При реализации цифрового фильтра возникает сложность выбора коэффициентов α и β , так как они заданы диапазоном рекомендуемых значений [0,58; 0,91]. Поэтому для определения оптимального диапазона коэффициентов α и β предлагается использовать нечеткую логику [8].

Использование цифрового фильтра в условиях неопределенности входной информации

Нечеткая логика в случае работы цифрового фильтра позволяет выбрать из диапазона рекомендуемых значений α и β единственное значение. Будем использовать коэффициенты

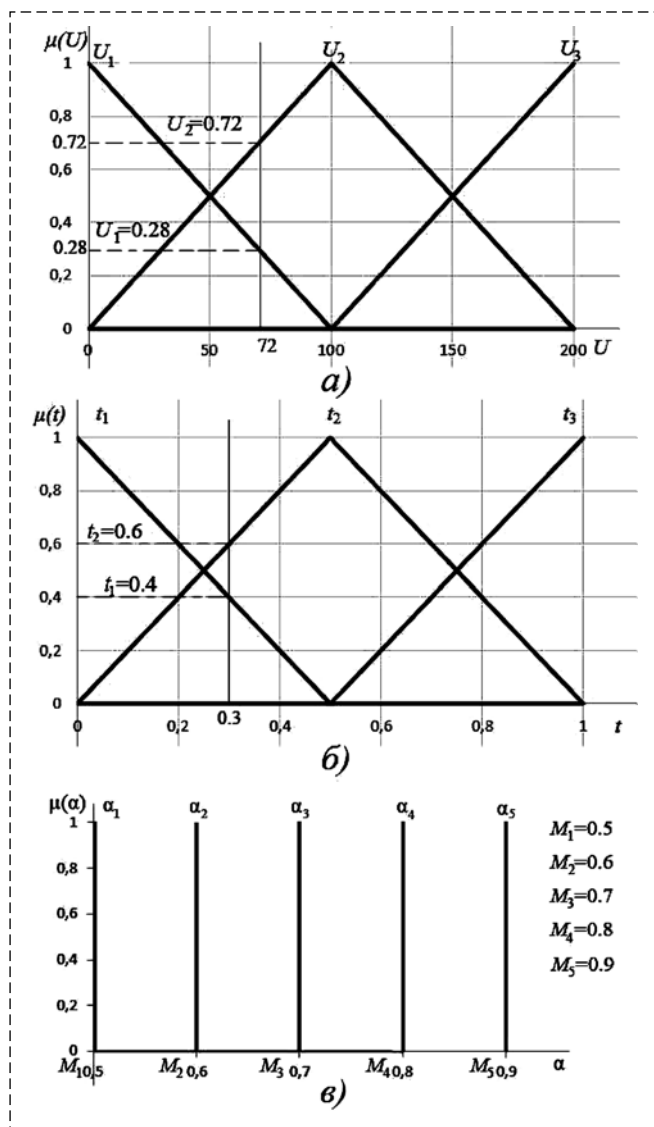


Рис. 2. Функции принадлежности μ для первой входной переменной (а), для второй входной переменной (б), для выходной переменной (в)

Fig. 2. Membership function μ for the first input variable (a), for the second input value (b), for the output variable (c)

цифрового фильтра для формирования выходной переменной. Пусть выходная переменная задана диапазоном по оси абсцисс рекомендуемых значений от 0,5 до 0,9 (рис. 2, в). Алгоритм работы нечеткого цифрового фильтра состоит из шести шагов.

Шаг 1. Определение степеней истинности входных переменных. Первая входная переменная ΔU — разница между текущим и предыдущим значениями напряжения, полученного от потенциометра:

$$\Delta U = U_{\text{тек}} - U_{\text{пред}}. \quad (6)$$

Первая входная переменная состоит из трех термов $\Delta U = (\Delta U_1, \Delta U_2, \Delta U_3)$, которые находят-

ся в диапазоне от 0 до 200 и определяются по формулам

$$\begin{aligned} \Delta U_1 &= \begin{cases} \frac{100 - \Delta U}{100}, & \text{если } 0 \leq \Delta U \leq 100; \\ 0 & \text{— в других случаях;} \end{cases} \\ \Delta U_2 &= \begin{cases} \frac{\Delta U}{100}, & \text{если } 0 \leq \Delta U \leq 100; \\ \frac{200 - \Delta U}{100}, & \text{если } 100 \leq \Delta U \leq 200; \\ 0 & \text{— в других случаях;} \end{cases} \quad (7) \\ \Delta U_3 &= \begin{cases} \frac{\Delta U - 100}{100}, & \text{если } 100 \leq \Delta U \leq 200; \\ 0 & \text{— в других случаях.} \end{cases} \end{aligned}$$

Выходной сигнал напряжения от потенциометра передается на вход микроконтроллера, имеющего десятиразрядный АЦП, и находится в диапазоне значений от 0 до 1024. Примем разность сигналов 20 % от начального максимального значения, которое может варьироваться.

Вторая входная переменная — время поворота звеньев робота-манипулятора из минимального положения в максимальное t . Вторая входная переменная состоит из трех термов $t = (t_1, t_2, t_3)$, которые находятся в диапазоне от 0 до 1 с и определяются по формулам

$$\begin{aligned} t_1 &= \begin{cases} \frac{0,5 - t}{0,5}, & \text{если } 0 \leq t \leq 0,5; \\ 0 & \text{— в других случаях;} \end{cases} \\ t_2 &= \begin{cases} \frac{t}{0,5}, & \text{если } 0 \leq t \leq 0,5; \\ \frac{1 - t}{0,5}, & \text{если } 0,5 \leq t \leq 1; \\ 0 & \text{— в других случаях;} \end{cases} \quad (8) \\ t_3 &= \begin{cases} \frac{t - 0,5}{0,5}, & \text{если } 0,5 \leq t \leq 1; \\ 0 & \text{— в других случаях.} \end{cases} \end{aligned}$$

Выходной переменной является коэффициент усиления цифрового фильтра α , который состоит из пяти термов $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5)$ и находится в рекомендуемом диапазоне от 0,5 до 0,9, рассчитанном по формуле (4).

На рис. 2 представлены графики функций принадлежности для входных и выходной переменных [9, 10].

Шаг 2. Расчет степеней истинности предпосылок нечетких правил по формулам

$$\begin{aligned} R1 &= \min(\Delta U_1; t_1); R2 = \min(\Delta U_1; t_2); \\ R3 &= \min(\Delta U_1; t_3); R4 = \min(\Delta U_2; t_1); \\ R5 &= \min(\Delta U_2; t_2); R6 = \min(\Delta U_2; t_3); \\ R7 &= \min(\Delta U_3; t_1); R8 = \min(\Delta U_3; t_2); \\ R9 &= \min(\Delta U_3; t_3). \end{aligned} \quad (9)$$

В таблице представлены девять нечетких правил [11, 12] для работы нечеткого цифрового фильтра.

Нечеткие правила для работы нечеткого цифрового фильтра

Fuzzy rules for fuzzy digital filter implementation

	ΔU_1	ΔU_2	ΔU_3
t_1	R1	R4	R7
t_2	R2	R5	R8
t_3	R3	R6	R9

Шаг 3. Нахождение степеней истинности заключений нечетких правил. Определяются с помощью операции нахождения максимумов по формулам

$$\begin{aligned} \alpha_5 &= R9, \alpha_4 = \max(R8; R6); \\ \alpha_3 &= \max(R7; R5; R3); \\ \alpha_2 &= \max(R4; R2), \alpha_1 = R1. \end{aligned} \quad (10)$$

Шаг 4. Дефаззификация, при которой осуществляется расчет четкого значения коэффициента нечеткого цифрового фильтра α по формуле

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n=5} \alpha_i M_i}{\sum_{i=1}^{n=5} \alpha_i} = \frac{\alpha_1 M_1 + \alpha_2 M_2 + \dots + \alpha_n M_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n} \quad (11)$$

и расчет коэффициента β по формуле (1) [13].

Шаг 5. Расчет по формуле (1) напряжения, передаваемого на сервоприводы:

$$U_{\text{фильтр}} = \alpha U_{\text{пред}} + \beta U_{\text{тек}}.$$

Шаг 6. Преобразование полученного напряжения с помощью нечеткого цифрового фильтра в угол поворота, передаваемый от микроконтроллера на сервоприводы, по формуле

$$\varphi = \frac{(U_{\text{фильтр}} - I_{\min})(U_{\max} - U_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min}) + U_{\min}}, \quad (12)$$

где φ — угол поворота сервопривода; $U_{\text{фильтр}}$ — значение выходного напряжения, полученное по формуле (1); $I_{\min}$, $I_{\max}$ — минимальное и максимальное значения выходного напряжения 0 и 1024; $U_{\max}$, $U_{\min}$ — максимальное и минимальное значения угла поворота основания робота-манипулятора.

С помощью функции `dwig.write( $\varphi$ )` сервоприводу дается команда для поворота основания ARMin0.

Компьютерные исследования системы цифрового управления ARMin0

В качестве примера следует пошагово разобрать алгоритм работы нечеткого цифрового фильтра. Пусть текущее напряжение $U_{\text{тек}}$ равно 150, а предыдущее $U_{\text{пред}}$ равно 78, время поворота звеньев робота-манипулятора t равно 0,3 мс.

Шаг 1. По формуле (6) рассчитывается разность между текущим и предыдущим значениями напряжения:

$$\Delta U = U_{\text{тек}} - U_{\text{пред}} = 150 - 78 = 72.$$

По формулам (7), (8) определяются степени истинности входных переменных (рис. 2, а, б):

$$\begin{aligned} \Delta U_1 &= \frac{100 - 72}{100} = 0,28; \Delta U_2 = \frac{72}{100} = 0,72; \Delta U_3 = 0; \\ t_1 &= \frac{0,5 - 0,3}{0,5} = 0,4; t_2 = \frac{0,3}{0,5} = 0,6; t_3 = 0. \end{aligned}$$

Шаг 2. По формулам (9) осуществляется расчет степеней истинности предпосылок нечетких правил:

$$\begin{aligned} R1 &= \min(0,28; 0,4) = 0,28; \\ R2 &= \min(0,28; 0,6) = 0,28; \\ R3 &= \min(0,28; 0) = 0; \\ R4 &= \min(0,72; 0,4) = 0,4; \\ R5 &= \min(0,72; 0,6) = 0,6; \\ R6 &= \min(0,72; 0) = 0; R7 = \min(0; 0,4) = 0; \\ R8 &= \min(0; 0,6) = 0; R9 = \min(0; 0) = 0. \end{aligned}$$

Шаг 3. По формулам (10) рассчитываются степени истинности заключений нечетких правил с помощью операции нахождения максимумов [14, 15]:

$$\begin{aligned} \alpha_5 &= R9 = 0; \alpha_4 = \max(0; 0) = 0; \\ \alpha_3 &= \max(0; 0,6; 0) = 0,6; \\ \alpha_2 &= \max(0,4; 0,28) = 0,4; \alpha_1 = 0,28. \end{aligned}$$

Схема вычислительного процесса представлена на рис. 3.

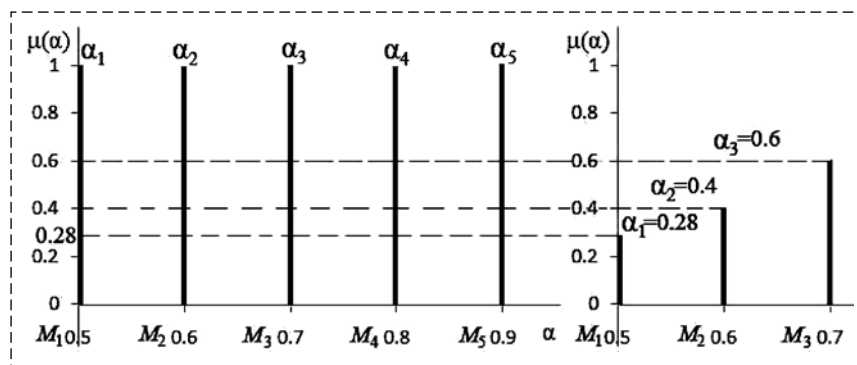


Рис. 3. Схема вычислительного процесса
Fig. 3. Computational process diagram

Шаг 4. По формуле (11) осуществляется расчет четкого значения коэффициента нечеткого цифрового фильтра α , по формуле (4) — расчет коэффициента β :

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot 0,28 + 0,6 \cdot 0,4 + 0,7 \cdot 0,6}{0,28 + 0,4 + 0,6} = 0,6;$$

$$\beta = 1 - 0,6 = 0,4.$$

Таким образом, при $\Delta U = 72$, $t = 0,3$ коэффициенты нечеткого цифрового фильтра будут равны $\alpha = 0,6$, $\beta = 0,4$.

Шаг 5. По формуле (5) находится выходное напряжение, передаваемое на сервоприводы:

$$U_{\text{фильтр}} = 0,6 \cdot 72 + 0,4 \cdot 150 = 103,2.$$

Шаг 6. Полученное значение в микроконтроллере преобразуется в значение угла поворота сервопривода по формуле (12):

$$\varphi = \frac{(103 - 0) \cdot (180 - 0)}{(1024 - 0) + 0} = 22,8,$$

и с помощью функции `dwg.write(φ)` сервоприводу дается команда для поворота.

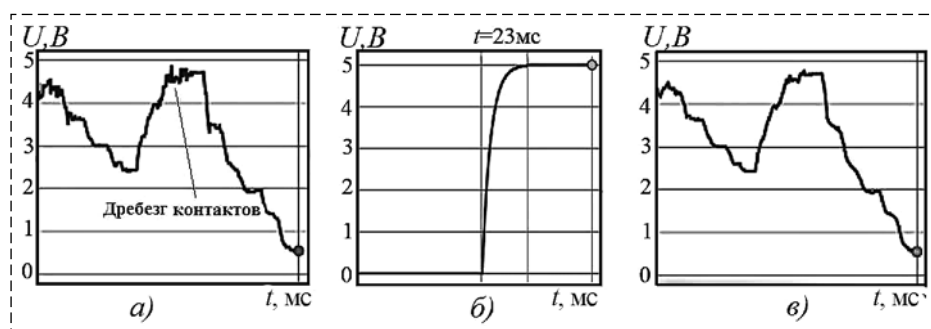


Рис. 4. График переходного процесса без нечеткого цифрового фильтра при вращении основания робота-манипулятора (а), время переходного процесса в нечетком цифровом фильтре (б), график переходного процесса с нечетким цифровым фильтром при вращении основания робота-манипулятора (в)

Fig. 4. Transient graph without a fuzzy digital filter while rotating the base of the robot manipulator (a), transition time in a fuzzy digital filter (б), transient graph with a fuzzy digital filter while rotating the base of the robotic arm (в)

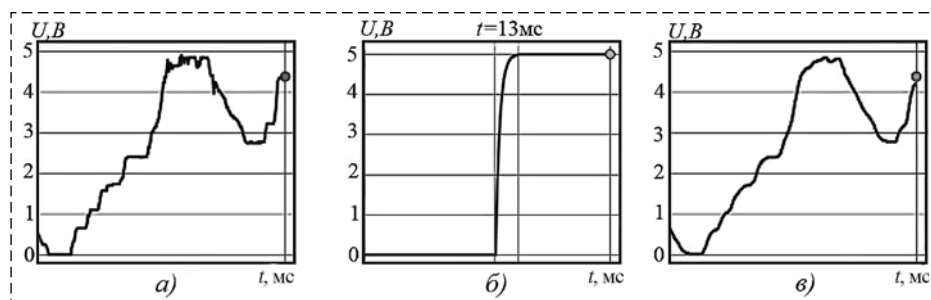


Рис. 5. График переходного процесса без нечеткого цифрового фильтра при вращении основания робота-манипулятора (а), время переходного процесса в нечетком цифровом фильтре (б), график переходного процесса с нечетким цифровым фильтром при вращении основания робота-манипулятора (в)

Fig. 5. Transient graph without a fuzzy digital filter while rotating the base of the robot manipulator (a), transition time in a fuzzy digital filter (б), transient graph with a fuzzy digital filter while rotating the base of the robotic arm (в)

Экспериментальные исследования работоспособности нечеткого цифрового фильтра

В качестве эксперимента проводили измерения времени переходного процесса при различных коэффициентах нечеткого цифрового фильтра. При повороте ручки потенциометра I (см. рис. 1, б на третьей стороне обложки) сигнал передается в микроконтроллер 5 (см. рис. 1, а на третьей стороне обложки). В микроконтроллере при коэффициентах нечеткого цифрового фильтра, рассчитанных с помощью формул (11) и (5), сигнал передается на сервопривод I для поворота основания робота-манипулятора (см. рис. 1, б). На рис. 5 представлен график переходного процесса движения звеньев робота-манипулятора при первом измерении $\alpha_1 = 0,9$, $\beta = 0,1$.

При проведении первого эксперимента время переходного процесса с нечетким

цифровым фильтром составило 23 мс.

Во втором эксперименте при $\alpha = 0,8$, $\beta = 0,2$, время переходного процесса составило 13 мс (рис. 5).

Третий эксперимент проводился при параметрах $\alpha = 0,6$, $\beta = 0,4$ (рис. 6).

Время переходного процесса составило 9 мс. На представленных графиках видно, что применение нечеткого цифрового фильтра сглаживает помехи, возникающие из-за дребезга контактов. В ходе эксперимента был сделан вывод о том, что при уменьшении коэффициента усиления цифрового фильтра α уменьшается время переходного процесса движения звеньев робота-манипулятора. Программа, реализующая работу нечеткого цифрового фильтра, занимает 2 % памяти микроконтроллера Arduino Mega.

Заключение

В данной работе представлено устройство робота-манипулятора ARMino с описанием схемы подключения его компонентов. Для подавления дребезга контактов и повышения точности позиционирования робота-манипулятора был разработан нечеткий цифровой фильтр. По результатам, полученным в ходе эксперимента, можно сделать вывод о том, что использование нечеткого цифрового фильтра в системе управления роботом-манипулятором решает проблему дребезга контактов, тем самым улучшая точность позиционирования его звеньев. Установлено, что от коэффициента α зависит время переходного процесса, т.е. при увеличении коэффициента нечеткого цифрового фильтра α увеличивается время поворота звеньев робота-манипулятора, а при уменьшении α уменьшается время. Использование нечеткой логики позволяет выбрать единственное значение коэффициентов цифрового фильтра из диапазона рекомендуемых.

Список литературы

1. Горитов А. Н. Управление роботом-манипулятором в среде с неполной информацией // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 6. С. 19–23.
2. Нусратов О. К., Джафаров П. С., Зейналов Э. Р., Мустафаева А. М., Джафаров С. М. Аналитический метод

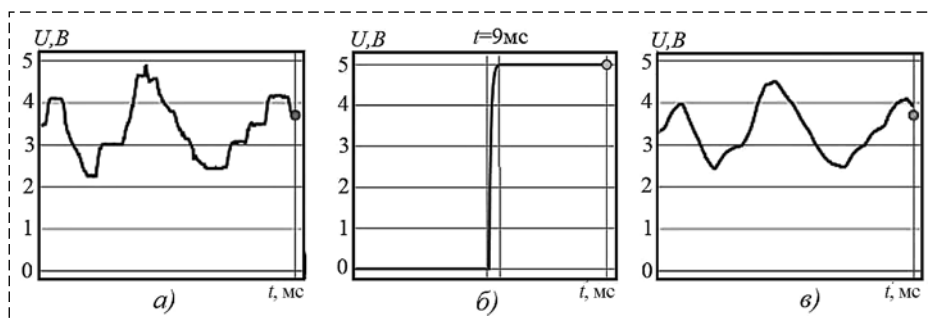


Рис. 6. График переходного процесса без нечеткого цифрового фильтра при вращении основания робота-манипулятора (а), время переходного процесса в нечетком цифровом фильтре (б), график переходного процесса с нечетким цифровым фильтром при вращении основания робота-манипулятора (в)

Fig. 6. Transient graph without a fuzzy digital filter while rotating the base of the robot manipulator (a), transition time in a fuzzy digital filter (b), transient graph with a fuzzy digital filter while rotating the base of the robotic arm (c)

синтеза регулятора с нечеткой TS-моделью для управления манипулятором робота с гибким соединением // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 8. С. 10–14.

3. Коротков А. Л., Королев Д. М., Китаев Н. А. Комплект модулей мобильной робототехники для макетирования и отладки алгоритмов управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т. 19. № 3. С. 175–182.

4. URL: <http://electricalschool.info> (дата обращения 08.05.2018).

5. Кондратьев Н. О., Кузнецов К. А., Трубин В. Г. Устройство ввода информации на базе механического инкрементального энкодера EC11 // Автоматика и программная инженерия. 2017. № 2. С. 39–45.

6. URL: <http://iarduino.ru>. (дата обращения 16.05.18)

7. URL: <http://www.teh-lib.ru/cimpu/cifrovye-filtry.html> (дата обращения 17.05.18)

8. Бобырь М. В. Адаптивная система управления мобильным роботом на основе нечеткой логики // Мехатроника, автоматизация и управления. 2015. № 7. С. 449–455.

9. Ющенко А. С. Методы нечеткой логики в управлении мобильными манипуляционными роботами // Вестник МГТУ им. Баумана. 2012. С. 29–43.

10. Ho Pham Huy Anh, Kyoung Kwan Ahn Hybrid control of a pneumatic artificial muscle (PAM) robot arm using an inverse NARX fuzzy model // Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2011. N. 24. P. 697–716.

11. Бобырь М. В., Титов В. С., Милостная Н. А. Прогнозирование работы мехатронных систем на основе мягких нечетких баз знаний // Мехатроника, автоматизация и управления. 2014. № 10. С. 8–14.

12. Yuksel Hacioglu, Yunus Ziya Arslan, Nurkan Yagis. MIMO fuzzy sliding mode controlled dual arm robot in load transportation // Journal of the Franklin Institute. 2011. N. 348. P. 1886–1902.

13. Bobyr M. V., Milostnaya N. A., Kulabuhov S. A. A method of defuzzification based on the approach of areas' ratio // Applied Soft Computing Journal. 2017. N. 10. P. 19–32.

14. Бобырь М. В., Кулабухов С. А., Милостная Н. А. Обучение нейро-нечеткой системы на основе метода разности площадей // Искусственный интеллект и принятие решений. 2016. № 4. С. 15–26.

15. Barmak Baigzadehnoe, Zahra Rahmani, Alireza Khosravi, Behrooz Rezaie. On position/force tracking control problem of cooperative robot manipulators using adaptive fuzzy backstepping approach // ISA Transactions. 2017. N. 70. P. 432–446.

Fuzziy Digital Filter for Robotic Manipulator Operation

M. V. Bobyr, fregat_mn@rambler.ru, M. Yu. Luneva, marinok-l@yandex.ru,

C. A. Nolivos, cris_93_bep@hotmail.com,

South-West State University, Kursk, 305040, Russian Federation

Corresponding autor: **Bobyr Maxim V.**, Doctor of technical sciences, Professor of the department of computer technology, South-West State University, Kursk, 305040, Russian Federation

Accepted on December 03, 2018

Abstract

In this article it is described the operation principle of a robotic manipulator ARMinO device and the connection diagram of its electrical components. The device includes: An Arduino Mega control board, four servos, four potentiometers, a prototyping board, a computer. Turning the shafts on the potentiometer adjusts the position of the servo spindles. When the voltage on the potentiometer's pin changes, the voltage at the analog inputs of the microcontroller changes. Then, in the microcontroller, the voltage is scaled to the value of the servo rotation angle. After that, the joints of the robotic manipulator are rotated. During the operation of the ARMinO robotic arm, a contact bounce problem appeared, significantly reducing the accuracy of positioning and the smooth movement of the ARMinO joints. To solve this problem, a digital filter was developed. This article describes the digital filter working algorithm, which consists of four steps. One of the steps consists on finding the digital filter coefficients, which regulate the signal voltage level transmitted to the servo motors, and its transition process time which forms the signal edge. The main problem developing a digital filter is that the standard procedure of finding the digital filter coefficients, the coefficients are given by a recommended range of values, which complicates choosing from this range, a single value and transmitting it to the servos. To solve this problem, a fuzzy digital filter was developed, the algorithm of which consists of six steps. The first step determines the input variables degree of truth. The second step is to calculate the degrees of truth of the fuzzy rules preconditions. The third step is to calculate the degrees of truth of the fuzzy rules conclusions by using the process of finding the maximum values. The fourth step is the defuzzification stage in which a precise value of the fuzzy digital filter coefficient is calculated. The fifth step is the output voltage transmitted to the servos. In the sixth step, the output voltage in the microcontroller is converted to the angle value and the servo is given the command to rotate. This article presents numerical simulation of the fuzzy digital filter algorithm, using as an example the servo responsible of the ARMinO base rotation. Experimental studies on the functioning of the fuzzy digital filter have been carried out, confirming the expediency of its use. The graphics of the transition process of the robotic manipulator base movement without and with the use of a digital filter are given.

Keywords: contact bounce, robotic manipulator, servos, fuzzy digital filter

Acknowledgements: This article was completed with the support of the Russian Federation President's grant MD-707.2017.8 and State assignment: Agreement № 2.3440.2017/4.6

For citation:

Bobyr M. V., Luneva M. Yu., Nolivos C. A. Fuzziy Digital Filter for Robotic Manipulator Operation, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2019, vol. 20, no. 4, pp. 244—250.

DOI: 10.17587/mau.20.244-250

References

1. **Goritov A. N.** *Upravlenie robotom-manipulyatorom v srede s nepolnoj informatsiej* (Managing a robotic manipulator in an environment with incomplete information), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2014, no. 6, pp. 19—23.
2. **Nusratov O. K., Dzhaifarov P. S., Zeynalov E. R., Mustafayeva A. M., Jafarov S. M.** *Analiticheskij metod sinteza regulatora s nechetkoj TS-model'yu dlya upravleniya manipulyatorom robota s gibkim soedineniem* (Analytical method for synthesizing a regulator with a fuzzy TS-model for operating a robotic manipulator with a flexible connection), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2011, no. 8, pp. 10—14 (in Russian).
3. **Korotkov A. L., Korolev D. M., Kitaev N. A.** *Komplekt modulej mobil'noj robototekhniki dlya maketirovaniya i otladki algoritmov upravleniya* (Set of modules of mobile robotics for prototyping and debugging of operation algorithms), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 3, pp. 175—182 (in Russian).
4. **Available at:** <http://electricalschool.info> (date of access 08.05.2018).
5. **Kondratiev N. O., Kuznetsov K. A., Trubin V. G.** Input device based on a mechanical incremental encoder EC11, *Automation and Software Engineering*, 2017, no. 2, pp. 39—45 (in Russian).
6. **Available at:** <http://iarduino.ru> (date of access 16.05.18).
7. **Available at:** <http://www.teh-lib.ru/cimpu/cifrovye-filtry.html> (date of access 17.05.18)
8. **Bobyr M. V.** Adaptivnaya sistema upravleniya mobil'nym robotom na osnove nechetkoj logiki (An adaptive control system for a mobile robot based on fuzzy logic), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2015, no. 7, pp. 449—455 (in Russian).
9. **Yushchenko A. S.** Metody nechetkoj logiki v upravlenii mobil'nymi manipulyatsionnymi robotami (*Fuzzy logic methods in the management of mobile manipulation robots*), *Vestnik MSTU. Bauman*, 2012, pp. 29—43 (in Russian).
10. **Ho Pham Huy Anh, Kyoung Kwan Ahn** Hybrid control of a pneumatic artificial muscle (PAM) robot arm using an inverse NARX fuzzy model, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2011, no. 24, pp. 697—716.
11. **Bobyr M. V., Titov V. S., Milostnaya N. A.** Prognozirovanie raboty mekhatronnykh sistem na osnove myagkikh nechetkikh baz znanij (Work prediction of mechatronic systems based on soft fuzzy knowledge data bases), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2014, no. 10, pp. 8—14 (in Russian).
12. **Yuksel Hacioglu, Yunus Ziya Arslan, Nurkan Yagis MIMO** fuzzy sliding mode controlled dual arm robot in load transportation, *Journal of the Franklin Institute*, 2011, no. 348, pp. 1886—1902.
13. **Bobyr M. V., Milostnaya N. A., Kulabukhov S. A.** A method of defuzzification based on the approach of areas' ratio, *Applied Soft Computing Journal*, 2017, no. 10, pp. 19—32.
14. **Bobyr M. V., Kulabukhov S. A., Milostnaya N. A.** Teaching a neuro-fuzzy system based on the area difference method, *Artificial intelligence and decision making*, 2016, no. 4, pp. 15—26.
15. **Barmak Baigzadehnoe, Zahra Rahmani, Alireza Khosravi, Behrooz Rezaie** On position/force tracking control problem of cooperative robot manipulators using adaptive fuzzy backstepping approach, *ISA Transactions*, 2017, no. 70, pp. 432—446.