УДК 621.9

Т. С. Леготкина, кандидат технических наук, доцент, Пермский государственный технический университет
Ю. Н. Хижняков, кандидат технических наук, доцент, Пермский государственный технический университет

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ЦЕНТРОИДА

Рассмотрен приближенный алгоритм вычисления координат центра тяжести нелинейных объединенных множеств при выполнении операции дефаззификации. Применение приближенного алгоритма позволит повысить быстродействие, точность дефаззификации и эффективность систем нечеткого управления технологическими процессами.

Ключевые слова: дефаззификация, метод центроида, центр тяжести нелинейной фигуры.

Теория нечеткой логики представляет собой обобщение и переосмысление классической математики: многозначной логики, теории вероятностей и дискретной математики.

Аппарат нечеткой логики применяется для решения задач, в которых исходные данные являются ненадежными и слабо формализуемыми. Математическая теория нечетких множеств позволяет описывать нечеткие понятия и знания, оперировать этими описаниями и делать нечеткие выводы. Нечеткое управление полезно, когда исследуемые процессы являются сложными для анализа с помощью общепринятых методов. Нечеткая логика, представляющая средство отображения неопределенностей и неточностей реального мира, ближе к человеческому мышлению и естественным языкам, чем традиционное логическое мышление.

Концепция нечеткого множества зародилась «*как неудовлетворенность математическими методами классической теории систем, которая вынуждала добиваться искусственной точности, неуместной во многих системах реального мира, особенно в так называемых гуманистических системах, включающих людей*» [1].

Сегодня нечеткая логика рассматривается как стандартный метод моделирования и проектирования. В 1997 г. язык нечеткого управления внесен в Международный стандарт программируемых контроллеров IEC 1131-7.

Для расчета центра тяжести (ЦТ) фигуры известны: метод центра максимума (метод среднего), метод наибольшего значения (метод максимума), метод центроида.

Известны разные формулы расчета координат ЦТ фигуры по методу центроида. Одна из них приведена в [2]:

$$w_0 = \frac{\int\limits_{\Omega} w \cdot \mu_{\Sigma}(w)\mathrm{d}w}{\int\limits_{\Omega} \mu_{\Sigma}(w)\mathrm{d}w}, \tag{1}$$

где $\mu_{\Sigma}(w)$ – кривая функции принадлежности переменной w; w_0 – центр тяжести для кривой $\mu_{\Sigma}(w)$.

Формула (1) удобна в случае, когда функции принадлежности дефаззификатора есть синглетоны.

Известна формула (2) вычисления абсциссы ЦТ объединенных линейных усеченных множеств (фигуры), образованных из линейных функций принадлежности дефаззификатора, с фиксацией координат характерных точек [3]:

$$x_{\text{ЦТ}}^{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n-1} 0,5\Big[y_i(x_{i+1}^2 - x_i^2) - 0,5x_i(x_{i+1}+x_i)(y_{i+1}-y_i) + \frac{1}{3}\frac{(y_{i+1}-y_i)}{(x_{i+1}-x_i)}(x_{i+1}^3 - x_i^3)\Big] \Big/ \sum_{i=1}^{n-1} 0,5(x_{i+1}-x_i)(y_{i+1}+y_i), \tag{2}$$

где x_i, y_i – координаты характерных точек элементарных фигур, определяющих границы элементарных фигур.

Расчет координат ЦТ фигуры по формуле (2) требует знания координат характерных точек элементарных фигур и имеет фиксированную точность, которая зависит от формы фигуры.

В [4] приводятся формулы (3) и (4) определения координат ЦТ фигуры, которые предполагают разбиение фигуры на *n* прямоугольников разной высоты, но одинаковой ширины Δx:

$$x_{\text{ЦТ}}^{\Sigma} = \frac{\sum S_i x_{\text{ЦТ}i}}{\sum S_i}; \tag{3}$$

$$y_{\text{ЦТ}}^{\Sigma} = \frac{0,5\sum f(x_i)\cdot S_i}{\sum S_i}, \tag{4}$$

где $S_i = f(x_i)\Delta x$ – площадь *i*-фигуры (прямоугольника); $f(x_i)$ – высота *i*-прямоугольника; $x_{\text{ЦТ}i} = \frac{x_{i+1}+x_i}{2}$ – значение абсциссы ЦТ *i*-фигуры.

Недостатком применения формул (3) и (4) является большой объем вычислений и снижение быстродействия формирования управляющего воздействия на объект.

С целью повышения быстродействия расчета координат ЦТ и снятия ограничений на функцию $y = f(x)$ рассмотрим приближенный алгоритм на основе неравномерного разбиения по оси абсцисс с построением *n* прямоугольников разной высоты фигуры нелинейного объединенного усеченного множества.

Получено 28.11.10

Пусть объединенное усеченное множество описывается функцией $y = f(x)$ и сложная фигура расположена на интервале $[a,b]$ по оси абсцисс.

Предлагается следующий алгоритм вычисления координат ЦТ фигуры:

– разбиваем сложную фигуру на n простых фигур с неравномерным разбиением по оси абсцисс таким образом, чтобы были одинаковыми и равными S/n. Число разбиений n определяется из соотношения $n = \frac{1}{2\Delta F}$, где ΔF – абсолютная погрешность воспроизведения функции $y = f(x)$;

– рассчитываем площадь S сложной фигуры;

– задаемся приращением ΔC изменения координаты абсциссы, которое должно быть хотя бы на порядок меньше, чем $\frac{b-a}{n}$;

– определяем координаты точек абсцисс в интервале разбиения $[x_k, x_{k+1}]$, где $x_0 = a$; $x_n = b$; $k = 0, 1, 2, \ldots, n-1$. Для определения точек разбиения x_i подсчитываем значение площади $S_i = \sum_{j=1}^{k} \Delta C f(x_i + j\Delta C)$ и сравнивается со значением S/n. Увеличиваем значение k до выполнения условия $S_i - S/n \le \varepsilon_{\text{задан}}$, где $\varepsilon_{\text{задан}}$ – заданная точность. Граница i-интервала определяется по формуле $x_{i+1} = x_i + k\Delta C$. Указанная процедура выполняется на всем отрезке $[a, b]$ и определяет координаты $x_0, x_1, x_2, .., x_i, \ldots, x_n$. В пределах каждого интервала $[x_i, x_{i+1}]$ функция $f(x)$ аппроксимируется постоянным значением y_i;

– определяем абсциссу и ординату ЦТ объединенного усеченного множества по формулам (5) и (6) соответственно:

$$x_{\text{ЦТ}}^{\Sigma} = \frac{1}{n} \sum_{0}^{n-1} \left(x_i + \frac{x_{i+1} - x_i}{2} \right); \tag{5}$$

$$y_{\text{ЦТ}}^{\Sigma} = \frac{0,5}{n} \sum_{0}^{n-1} \frac{S_i}{x_{i+1} - x_i}. \tag{6}$$

Приведенный алгоритм вычисления координат ЦТ был проверен на различных фигурах объединенного усеченного множества, показанных на рисунке. Данная программа позволяет рассчитывать координаты ЦТ фигуры, заданной координатным способом.

Рассмотрим интерфейс программы. Основными элементами управления являются:

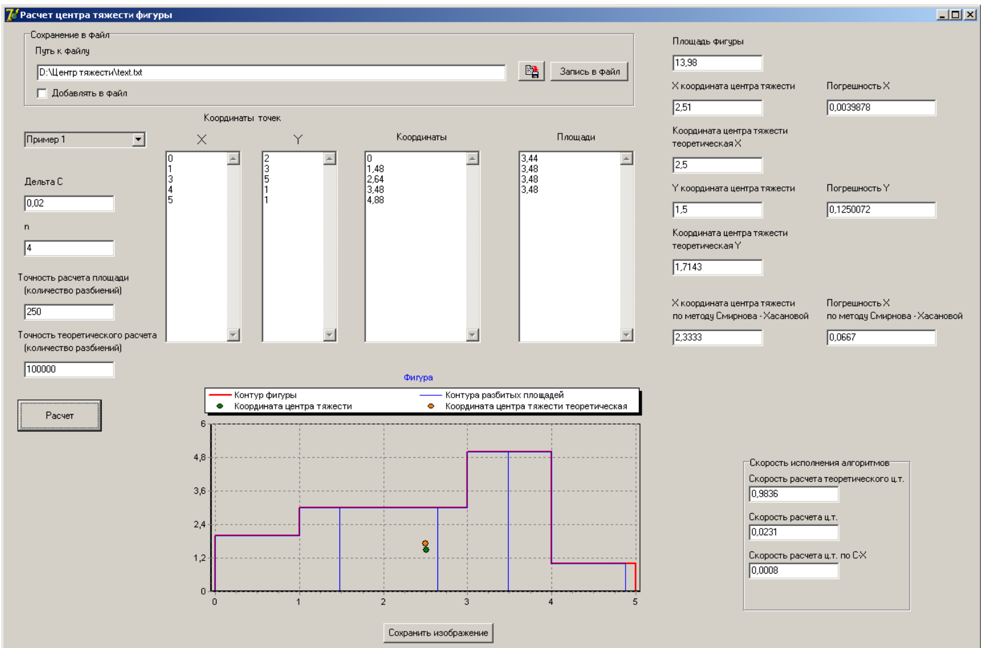
1) Окно выбора действия, в котором можно загрузить уже готовые примеры фигур или выбрать режим самостоятельного ввода данных.

2) Поля ввода параметров расчета фигуры. Поля «Дельта *C*» и «*n*» отвечают за ввод шага разбиения ΔC и числа разбиения n.

3) Поля ввода x и y отвечают за ввод соответствующих координат фигуры. При использовании фигур с наклонными или нелинейными поверхностями следует помнить, что они будут аппроксимированы прямоугольниками. Поэтому необходимо заранее позаботиться о разбиении данных поверхностей на участки, обеспечивающие достаточную точность воспроизведения фигуры.

Кнопка «Расчет» отвечает за выполнения расчета и построения графика.

Элементы сохранения данных: кнопки «Запись в файл» и «Сохранение изображения» – сохранение в файл по указанному пути.



Интерфейс программы

Путь можно указать вручную или с помощью диалога сохранения, который открывается при нажатии на кнопку с дискетой. Следует помнить, что если в поле «Добавить файл» не стоит галочка, то файл будет переписан. При нажатии на кнопку «Сохранить изображение» происходит открытие диалогового окна, в котором можно указать имя файла для сохранения фигуры.

Основные элементы вывода информации:

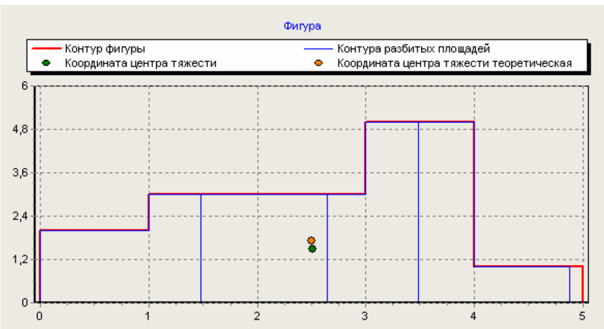
1) Графическое изображение фигуры. На нем отображается контур самой фигуры, контуры площадей, на которые она была разбита, точка ЦТ, рассчитанная по методу равенства площадей, и теоретическая точка ЦТ. Все данные объекты выделены различными цветами с расшифровкой в легенде графика.

2) Поля вывода координат и величин элементарных площадей, на которые разбита вся фигура, общая площадь фигуры, координаты *x* и *y* ЦТ, рассчитанные по методу равенства площадей и теоретическому методу, погрешности расчета этих координат, *x*-координата ЦТ по методу Смирнова – Хасановой [2], поля вывода скоростей расчета алгоритмов.

3) Сохранение результатов расчета происходит в текстовом файле.

Одной из особенностей программы является то, что она позволяет оценить время расчета ЦТ вышеозначенными методами. Ввиду производительности современных компьютеров выполнение столь небольших задач требует времени порядка микросекунд, поэтому реализация данной функции была произведена с помощью API команд получения значений системного счетчика. Этот метод позволяет получать значения времени с точностью до 1/1193182 секунды. Следует отметить тот факт, что измерение скорости работы вышеозначенного алгоритма производилось вместе с учетом операций, необходимых для последующего графического вывода. Ее реальная величина может быть несколько ниже. С помощью разработанного пакета были проведены исследования для различных фигур (примеры 1, 2), получены значения координат ЦТ и относительные погрешности вычисления координат, а также соотношения временных характеристик для точного и приближенного расчета координат ЦТ, что является важным для микроконтроллеров.

Пример № 1, *n* = 8



$$\Delta C = 0{,}02;\ x_{\text{ЦТ}} = 2{,}4738;\ \delta = 0{,}0105;$$

$$y_{\text{ЦТ}} = 1{,}6875;\ \delta = 0{,}0156.$$

$$\Delta C = 0{,}01;\ x_{\text{ЦТ}} = 2{,}4856;\ \delta = 0{,}0057;$$

$$y_{\text{ЦТ}} = 1{,}6875;\ \delta = 0{,}0156.$$

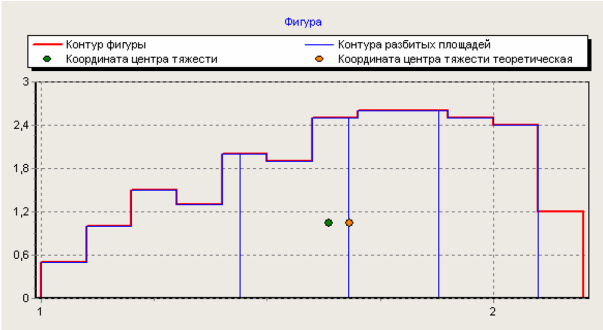
$$\Delta C = 0{,}005;\ x_{\text{ЦТ}} = 2{,}4997;\ \delta = 0{,}0001;$$

$$y_{\text{ЦТ}} = 1{,}6875;\ \delta = 0{,}0156.$$

$$\Delta C = 0{,}001;\ x_{\text{ЦТ}} = 2{,}5126;\ \delta = 0{,}0050;$$

$$y_{\text{ЦТ}} = 1{,}6875;\ \delta = 0{,}0156.$$

Пример № 2, *n* = 8



$$\Delta C = 0{,}02;\ x_{\text{ЦТ}} = 1{,}645;\ \delta = 0{,}02216;$$

$$y_{\text{ЦТ}} = 1{,}125;\ \delta = 0{,}0756;$$

$$\Delta C = 0{,}01;\ x_{\text{ЦТ}} = 1{,}6625;\ \delta = 0{,}01176;$$

$$y_{\text{ЦТ}} = 1{,}0437;\ \delta = 0{,}0021.$$

$$\Delta C = 0{,}005;\ x_{\text{ЦТ}} = 1{,}6716;\ \delta = 0{,}00637;$$

$$y_{\text{ЦТ}} = 1{,}0437;\ \delta = 0{,}0021.$$

$$\Delta C = 0{,}001;\ x_{\text{ЦТ}} = 1{,}6772;\ \delta = 0{,}00303;$$

$$y_{\text{ЦТ}} = 1{,}0812;\ \delta = 0{,}0338.$$

Анализ расчетных формул и экспериментальных данных показал:

– чем меньше приращение абсциссы ΔC, тем выше точность определения координат ЦТ фигуры объединенного усеченного множества;

– быстродействие алгоритма для вычисления координат ЦТ фигуры объединенного усеченного множества по формулам (5) и (6) на 2-3 порядка выше, чем при расчетах по формулам (3) и (4);

– формула расчета координат ЦТ объединенного линейного усеченного множества (2) предполагает линейные функции принадлежности дефаззификатора с фиксацией координат характерных точек элементарных фигур;

– формулы расчета координат ЦТ (5) и (6) объединенного нелинейного усеченного множества предполагают нелинейные функции принадлежности дефаззификатора, являются универсальными и могут широко применяться при проектировании нечеткого регулятора.

Заключение

1. Рассмотрена модификация метода центроида с целью повышения быстродействия определения координат центра тяжести нелинейной фигуры после системы нечеткого вывода.

2. Разработан алгоритм определения координат центра тяжести (выход нечеткого регулятора).

Список литературы

1. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М. : Мир, 1976. – 167 с.

2. *Круглов В. В.*, *Борисов В. В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – 2-е изд., стереотип. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

3. *Смирнов В. А.*, *Хасанова А. А.* Особенности реализации системы управления на нечеткой логике // Изв. Челябинского науч. центра. – 2003. – Вып. 4(21).

4. *Бермант А. Ф.*, *Абрамович И. Г.* Краткий курс математического анализа. – 8-е изд., испр. и доп. – М. : Наука, 1973. – 720 с.

T. S. Legotkina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Perm State Technical University
Y. N. Khizhnyakov, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Perm State Technical University

A Modified Centroid Method

An approximate algorithm for calculating coordinates of the center of gravity of non-linear join sets when performing defuzzification is considered. Application of the algorithm will increase the speed, accuracy and efficiency of defuzzification of a fuzzy process control.

Key words: defuzzification, centroid method, center of gravity of nonlinear shapes.

УДК 621.317.3:004.3

И. В. Петухов, кандидат технических наук, доцент, Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ АСПЕКТОВ ИНЕРЦИОННОСТИ ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ ЧЕЛОВЕКА*

Предложены новый способ определения инерционности зрительного восприятия и структура устройства для проведения экспериментальных исследований. Установлено, что инерционность зрительного восприятия составляет от 50,8 до 53,8 мс.

Ключевые слова: человек-оператор, человекомашинные системы, инерционность зрительного восприятия, время зрительного восприятия.

Несмотря на активное внедрение средств вычислительной техники и систем автоматического контроля, человек-оператор по-прежнему остается необходимым элементом практически любой системы. При этом наблюдается все большее усложнение деятельности оператора в силу возросшей нагрузки на воспринимающие, опознающие и принимающие решение его системы.

Одним из важнейших этапов деятельности оператора является этап восприятия информации, успешность выполнения которого является необходимым условием успешности принятия операторского решения.

Инерционность зрительной системы человека определяет временные аспекты процесса зрительного восприятия и ограничивает пропускную способность зрительного канала по скорости.

Исследованию инерционности зрительного восприятия человека посвящено значительное количество работ, опубликованных как в отечественных научных изданиях, так и за рубежом. В то же время остаются неисследованными вопросы повышения точности и достоверности оценки инерционности зрительного восприятия, временных различий при восприятии различных цветов и их взаимосвязь с эргономическими требованиями.

Целью исследования является разработка нового способа оценки инерционности зрительного восприятия человека повышенной достоверности и технических средств для его практического осуществления.

Теоретический анализ

Сегодня для оценки инерционности зрительного восприятия наиболее часто используются следующие интегральные параметры:

– критическая частота световых мельканий (КЧСМ) [1] – частота перехода от видимости мельканий к ощущению их субъективного слияния;

– время зрительного восприятия (ВЗВ) – период с момента начала экспозиции тестового короткого стимула до включения маскирующего раздражителя,

Получено 29.11.10

* Приведенные в статье результаты получены при поддержке гранта по аналитической ведомственной целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» № 2.1.2/4841.