

Комплексирование сигналов от неравноточных информационных систем с помощью нечеткой логики

В.М. Понятский, А.В. Горин

Аннотация — При выполнении комплексирования нескольких неравноточных сигналов информационных систем одна из основных проблем заключается в определении границ, в которых следует использовать тот или иной набор сигналов, и способа объединения сигналов. В статье рассматривается метод, основанный на оценке значений координат центра тяжести результирующей функции принадлежности нечеткой системы вывода. Для определения значения центра тяжести используются следующие шаги: задается вид функций принадлежности входов и выходов системы нечеткого вывода; вводятся границы функций принадлежности входов и выходов нечеткой системы вывода; для функций принадлежности входов задается нормированное значение параметра качества информационных систем; для определения координаты центра тяжести используется алгоритм И. Мамдани. В соответствии с полученной траекторией центра тяжести определяются границы комплексирования (границы режимов работы) и веса информационных сигналов. Изменение формы функций принадлежности и областей их пересечения (границ режимов работы) позволяет изменять форму траектории центра тяжести от нормированного значения сигнала с большой вариативностью относительно условий функционирования, специфики работы информационных систем и т. п., благодаря чему возможно изменение характера весов сигналов информационных систем. Рассмотрен пример комплексирования двух информационных систем с разными уровнями среднеквадратического отклонения, и показано, что применение предлагаемого в статье метода позволяет получить в результате комплексирования суммарный сигнал со среднеквадратическим отклонением меньшим, чем у самой точной комплекслируемой информационной системы.

Ключевые слова — информационная система, комплексирование; нечеткая логика; центр тяжести.

1. ВВЕДЕНИЕ

С целью повышения характеристик информационных систем (ИС) применяется комплексирование. При использовании неравноточных информационных систем изменение условий работы или появление помех может приводить к тому, что меняется характер информационных сигналов и при этом возникают ситуации, когда необходимо изменения режимов работы: использование одной из систем или их комплексирование.

В статье предлагается метод комплексирования ИС на

основе нечеткой логики. Использование нечеткой логики определено двумя факторами: 1) отсутствием точного определения/формализации границ, в которых целесообразно использовать тот или иной набор сигналов (режим) и 2) необходимость определения весов информационных сигналов.

Метод задания количественных границ для режимов работы и весов сигналов основан на оценке значения координаты центра тяжести (ЦТ) результирующей функции принадлежности нечеткой системы вывода от входного параметра: предлагается границы режимов определять как области пересечения входных и выходных функций принадлежности нечеткой системы вывода, а весовые коэффициенты сигналов – как координаты ЦТ.

II. МЕТОД КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ, ОСНОВАННЫЙ НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ

Рассмотрим случай, когда имеется две ИС и N критериев их качества функционирования. Под критериями качества могут пониматься, например, величина математического ожидания, среднеквадратического отклонения выходных сигналов систем и т. п.

Формирование координат ЦТ включает следующие шаги:

1) определяется вид функций принадлежности входов и выходов системы нечеткого вывода (вариант для случая с одним критерием качества представлен на рисунке 1);

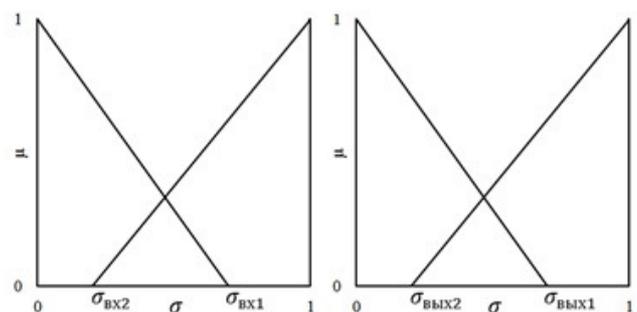


Рис. 1. Функции принадлежности входа и выхода (где σ_{vx1} и σ_{vx2} – границы функций входа, σ_{vyx1} и σ_{vyx2} – границы функций выхода;

$$\sigma_{vx1} = \sigma_{vyx1} = 0,7, \sigma_{vx2} = \sigma_{vyx2} = 0,2)$$

2) вводятся границы функций принадлежности входов (σ_{vx1} и σ_{vx2}) и выходов (σ_{vyx1} и σ_{vyx2}).

3)

3) для функций принадлежности входов задается нормированное значение параметра качества информационных систем:

Рекомендована организационным комитетом III Международной научной конференции «Конвергентные когнитивно-информационные технологии»

Понятский Валерий Мариафович - АО «КБП» (email: kbkedr@tula.net).
Горин Антон Валерьевич - АО «КБП» (email: gorin@tutanota.de).

$$\sigma = \frac{\sigma_1}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}},$$

где σ – значение нормированного коэффициента СКО; σ_1 – СКО выходного сигнала первой системы; σ_2 – СКО выходного сигнала второй системы.

Введение нормирования, благодаря которому множество значений нормированного сигнала находится в фиксированном интервале $(0,1)$, упрощает аналитическое описание вычислений. Нормирование в общем случае осуществляется по формуле:

$$\sigma = \frac{\sigma_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}},$$

где n – количество информационных систем; σ_i – нормированный параметр сигнала от i -го сигнала; σ – нормированный сигнал.

4) Значение функции принадлежности входов и выходов (рисунок 1) для нечетких множеств определяется формулами [1]:

$$\mu_{пр} = \begin{cases} 0, \sigma < 0, \text{ если } \sigma > \sigma_{вх1}; \\ \frac{\sigma_{вх1} - \sigma}{\sigma_{вх1}}, \text{ если } 0 \leq \sigma \leq \sigma_{вх1}; \end{cases}$$

и

$$\mu_{лев} = \begin{cases} 0, \sigma < \sigma_{вх2}, \text{ если } \sigma > 1; \\ \frac{\sigma - \sigma_{вх2}}{1 - \sigma_{вх2}}, \text{ если } 0 \leq \sigma \leq \sigma_{вх2}; \end{cases}$$

- интервал от 0 до $\sigma_{вх2}$ соответствует режиму, в котором используется только вторая информационная система;
- интервал от $\sigma_{вх2}$ до $\sigma_{вх1}$ – режиму комплексирования;
- интервал от $\sigma_{вх1}$ до 1,0 – режиму использования только первой информационной системы).

5) Для определения координаты ЦТ используется алгоритм И. Мамдани, включающий следующие шаги [2]:

- формирование базы правил системы нечеткого вывода. База правил системы нечеткого вывода основана на возможном множестве значений нормированного значения и состоит из следующих основных правил нечетких продукций:
 - если $\sigma_1 \gg \sigma_2$, то $\sigma \rightarrow 1$ и выбирается вторая система;
 - если $\sigma_1 \ll \sigma_2$, то $\sigma \rightarrow 0$ и выбирается первая система;
 - если $\sigma_1 \approx \sigma_2$, и $\sigma \in (\sigma_{вх2}, \sigma_{вх1})$, то осуществляется комплексирование;
- фазификация входных переменных;
- агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций;

- агрегирование подзаклучений в нечетких правилах продукций по формуле:

$$\mu'(\sigma) = \min\{c_i, \mu(\sigma)\},$$

где $\mu(\sigma)$ – функция принадлежности терма, c_i – степень истинности подзаклучения;

- аккумуляция заклучений нечетких правил продукций по формуле

$$\mu_D(\sigma) = \max\{\mu_A(\sigma), \mu_B(\sigma)\}, \forall \sigma \in (0 \dots 1),$$

где D – нечеткое множество, являющееся результатом объединения множеств A и B ;

- дефазификация выходных переменных (расчет координаты ЦТ).

Координаты ЦТ оцениваются от нормированного значения показателя качества. Зависимость определяется формулой:

$$ЦТ(\sigma) = \frac{\int_{\min}^{\max} \sigma \cdot \mu(\sigma) d\sigma}{\int_{\min}^{\max} \mu(\sigma) d\sigma}$$

где $ЦТ(\sigma)$ – координата центра тяжести в зависимости от значения нормированного коэффициента (результат дефазификации); $\mu(\sigma)$ – функция принадлежности нечеткого множества, соответствующего общему выводу из базы правил.

Процесс оценки координат и построение траектории $ЦТ(\sigma)$ на примере системы нечеткого вывода с одним нормируемым показателем качества представлен на рисунке 2. График траектории ЦТ и области, определяющие режимы работы, представлены на рисунке 3.

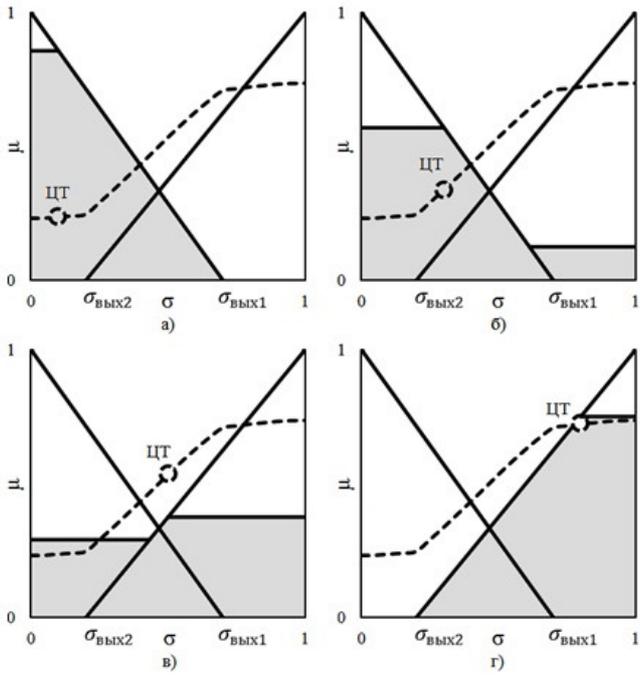


Рис. 2. Построение траектории зависимости ЦТ(σ): на рис. 3а) $\sigma < \sigma_{\text{вых}2}$, на рис. 3б) и 3в) $\sigma_{\text{вых}2} < \sigma < \sigma_{\text{вых}1}$, на рис. 3г) $\sigma > \sigma_{\text{вых}1}$

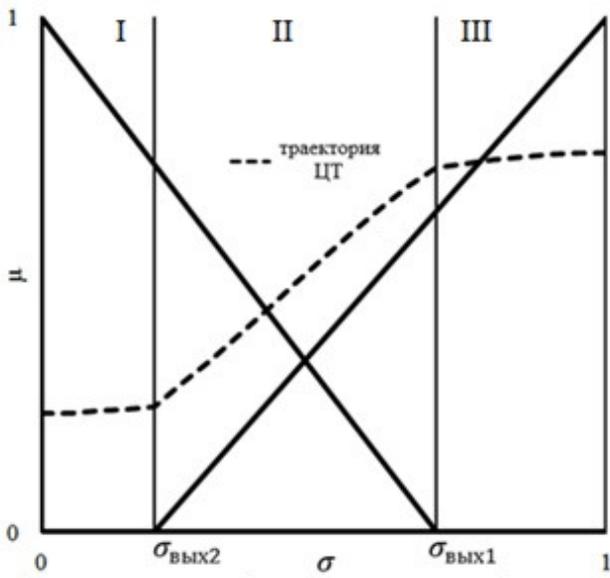


Рис. 3. Области, определяющие режимы работы, и траектория ЦТ: область I соответствует режиму, в котором функционирует только вторая информационная система; область II соответствует комплексированию; III – функционированию первой информационной системы.

На рисунках 4 представлены возможные варианты траектории ЦТ. Как и на рисунке 2, показаны три области, определяющие режимы работы: крайние области соответствуют работе одной из ИС, а центральная – комплексированию систем. Траектория на рисунке 4а) соответствует системе нечеткого вывода с одним показателем качества и смещенными треугольными функциями принадлежности по сравнению с рисунками 2, 3,

а на рисунках 4б) – 4г) – для системы с двумя критериями качества и гауссовыми функциями принадлежности.

Изменение формы функций принадлежности и областей пересечения функций принадлежности изменяет форму траектории координаты ЦТ от нормированного значения сигнала с большой вариативностью относительно условий функционирования, специфики работы ИС и т. п., благодаря чему возможно изменение характера весов сигналов ИС: если одна из ИС имеет точность, например, в несколько раз худшую, чем другая, то увеличив участок траектории, который относится к информационной системе с большей точностью, и участок комплексирования, можно повысить приоритет этих режимов, что физически можно интерпретировать как необходимость пройти большой путь, прежде чем будет осуществлено переключение режимов работы

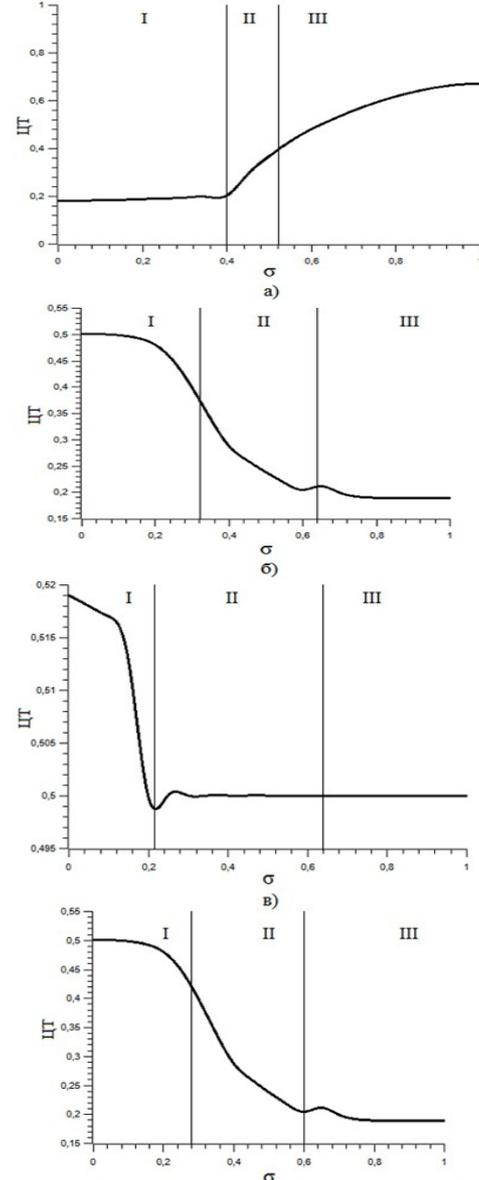


Рис. 4. Возможные варианты траектории ЦТ, определяющей коэффициенты весов измерителей.

Римские цифры соответствуют режимам функционирования: I – режим работы второй ИС, II – режим комплексирования, III – режим работы первой ИС.

Таблица 1 – Зависимость ЦТ(σ) для графиков на рисунках 4а) – 4г).

σ	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
ЦТ(σ) 4а)	0,180	0,181	0,182	0,184	0,187	0,190	0,193	0,197	0,202	0,291	0,366
ЦТ(σ) 4б)	0,500	0,500	0,498	0,493	0,480	0,449	0,399	0,340	0,288	0,260	0,238
ЦТ(σ) 4в)	0,519	0,518	0,517	0,513	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
ЦТ(σ) 4г)	0,828	0,828	0,827	0,824	0,820	0,815	0,807	0,796	0,813	0,825	0,828
σ	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	
ЦТ(σ) 4а)	0,428	0,479	0,52	0,557	0,589	0,616	0,638	0,655	0,666	0,670	
ЦТ(σ) 4б)	0,218	0,204	0,211	0,199	0,191	0,189	0,189	0,189	0,189	0,189	
ЦТ(σ) 4в)	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	
ЦТ(σ) 4г)	0,825	0,813	0,796	0,807	0,815	0,820	0,824	0,827	0,828	0,828	

III. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В соответствии с приведенной методикой проведено моделирование изменения центра тяжести для оценки корректности рассматриваемого метода. Моделирование было ориентировано на систему реального времени с ограниченными вычислительными ресурсами, что обусловило использование заранее рассчитанной траектории ЦТ в виде ломаной, полученной в соответствии с рассматриваемым методом (рисунок 5).

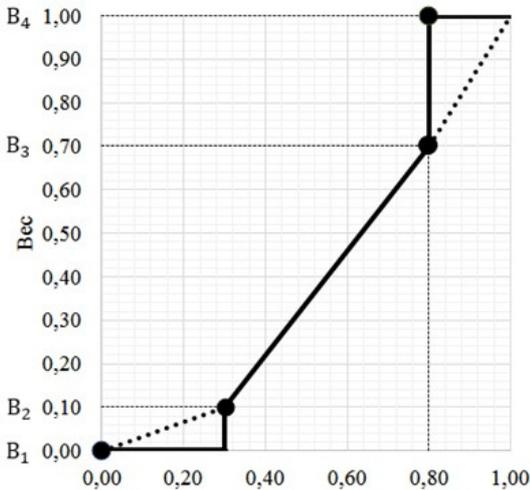


Рис. 5. Траектория ЦТ, использованная при моделировании. $B_1 = 0, B_2 = 0,1, B_3 = 0,7, B_4 = 1,0$. Область по оси абсцисс от 0 до 0,3 соответствует работе только первой ИС ($ИС_1$), от 0,3 до 0,8 – режиму комплексирования, а от 0,8 до 1,00 работе только второй ИС ($ИС_2$). Для левой области $Вес = \frac{\sigma}{3}$, для средней $Вес = 1,2\sigma - 0,26$, для правой $Вес = 0,5\sigma + 0,3$.

Весы первой и второй ИС определяются как:

$$B_{ИС_1} = 1 - Вес(\sigma),$$

$$B_{ИС_2} = Вес(\sigma).$$

Расчет СКО в формуле нормирования осуществляется по следующим зависимостям:

$$\sigma_{ИС_1} = \sqrt{D_{ИС_1}}, \sigma_{ИС_2} = \sqrt{D_{ИС_2}},$$

$$D_{ИС_1} = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} (x_i - M_{ИС_1})^2}{N_1}, D_{ИС_2} = \frac{\sum_{j=1}^{N_2} (x_j - M_{ИС_2})^2}{N_2},$$

$$M_{ИС_1} = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} x_i}{N_1}, M_{ИС_2} = \frac{\sum_{j=1}^{N_2} x_j}{N_2},$$

где x_i и x_j – дискретные значения (например, координаты) измеряемого ИС параметра объекта; N_1, N_2 – количество значений, используемые в расчетах.

Суммарное СКО комплексированного сигнала определяется выражением:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_1^2 B_{ИС_1} + \sigma_2^2 B_{ИС_2}}.$$

В таблице 2 представлено значение суммарного СКО в зависимости от значений СКО $ИС_1$ и $ИС_2$.

Из таблицы следует, что при комплексировании суммарное СКО почти всегда меньше СКО самой точной ИС (минимально на 7 %, максимально на 26 %)

Таблица 2 – Зависимость суммарного СКО комплексированного сигнала от СКО $ИС_1$ и $ИС_2$.

№	$\sigma_{ИС_1}$	$\sigma_{ИС_2}$	σ	Режим	$Вес_{ИС_1}$	$Вес_{ИС_2}$	σ_{Σ}
1	1	9	0,10	Работа $ИС_1$	1	0	1
2	3	17	0,15		1	0	3
3	2	8	0,20		1	0	2
4	7	13	0,35	Комплек сирование	0,84	0,16	6,237
5	4	6	0,40		0,78	0,22	3,388

6	9	11	0,45	Работа НС ₂	0,72	0,28	7,175
7	5	5	0,50		0,66	0,34	3,712
8	11	9	0,55		0,60	0,40	7,518
9	6	4	0,60		0,54	0,46	3,726
10	13	7	0,65		0,48	0,52	7,224
11	7	3	0,70		0,42	0,58	3,416
12	3	4	0,75		0,75	0,25	2,458
13	17	3	0,85		0	1	3
14	9	1	0,90		0	1	1
15	19	1	0,95		0	1	1

IV. ВЫВОДЫ

Введение нечеткой логики в процесс комплексирования неравнооточных информационных систем обеспечивает решение задачи определения границ режимов функционирования информационных систем и весов сигналов в соответствии с оценками значений координат центра тяжести результирующей функции принадлежности. Комплексирование на основе нечеткой логики позволяет учитывать изменение точности сигналов в зависимости от различных внешних факторов. Проведенное моделирование показало, что комплексирование двух информационных систем с разными уровнями среднеквадратического отклонения позволяет получить СКО суммарного сигнала меньшее, чем СКО самой точной комплекслируемой информационной системы.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Понятский, В. М. Способ повышения помехоустойчивости робототехнической системы Труды XII международного семинара «Супервычисления и математическое моделирование» (11 октября - 15 октября 2010 г) – г. Саров ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» 2011 С. 288-300.
- [2] Понятский, В. М. Комплексирование результатов обработки и выделения источника полезного излучения по последовательности видеоизображений Изв. ТулГУ. Сер. "Радиотехника и радиооптика" - Тула: ТулГУ, 2013, Т. XIII. С. 120-123.
- [3] Понятский, В. М. Комплексирование измерительных систем на основе фильтрации Калмана Стохастическая оптимизация в информатике. Межвузовский сборник. /Под ред. О.Н. Граничина – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2014. Том 10 Вып.2. С. 37-41.
- [4] Понятский, В. М. Комплексирование оценок координат подвижного объекта, полученных разными методами обработки последовательности видеоизображений (статья) Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Тула: ТулГУ. 2015. Вып. 2. С. 77-89
- [5] Погорельский, С. Л., Понятский, В. М., Макарецкий, Е.А., Гублин, А. С., Овчинников, А. В. Повышение точности измерения параметров объекта на изображениях на основе алгоритмического комплексирования Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Вып. 12. Часть 2. Тула: ТулГУ. 2016. С. 147-154
- [6] Понятский, В. М. Повышение качества обработки информации, поступающей с нескольких видеосенсоров, в задачах управления // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. Т. 12, № 4. С. 165–172. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28151074> (дата обращения: 12.07.2018)
- [7] Понятский, В. М., Галантэ, А. И., Егоров, Д. Б., Макарецкий, Е. А. Селекция изображений полезного источника излучения на фоне помех по комплексному критерию / Вестник ТулГУ. Сер. Радиотехника и радиооптика. Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. Т. XIII. С. 131 – 136.
- [8] Егоров, Д.Б., Понятский, В.М., Макарецкий, Е.А. Выделение пересекающихся траекторий объектов по последовательности видеок кадров Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 6-2. С. 200-205
- [9] Погорельский, С. Л., Понятский, В. М., Егоров, Д. Б., Макарецкий, Е. А., Овчинников, А. В., Гублин, А. С. Комплекс для исследования обработки видеоинформации Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Вып. 12. Часть 2. Тула: ТулГУ. 2016 г. С. 135-147
- [10] Макарецкий, Е. А., Понятский, В. М., Еремин, Н. Н. Метод повышения эффективности сегментации в системе слежения за транспортными потоками (Статья) Сборник материалов IX Международной конференции Распознавание-2010. Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработка изображений и символьной информации – Курск. Курский государственный технический университет. 2010. С. 39-41.
- [11] Понятский, В. М., Галантэ, А. И., Макарецкий, Е. А. Особенности проектирования алгоритмов обработки изображений в телевизионных измерительных системах Сборник докладов МОДЕЛИРОВАНИЕ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ. Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»; Российская академия наук; Российский фонд фундаментальных исследований. 2011. Том 3. С. 121-127.
- [12] Погорельский, С. Л., Чинарёв, А. В., Семикозов, А. М. Комплексный подход к улучшению изображений комбинированных телетепловизионных приборов / Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. Выпуск 7. С. 291 – 296.
- [13] Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
- [14] Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с
- [15] Леоненков, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
- [16] Бухалёв, В. А. Оптимальное сглаживание в системах со случайной скачкообразной структурой. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 188 с.
- [17] Фихтенгольц, Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 3 т. Т. 1. – 8-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 680 с.
- [18] Buckley, J. J., Eslami, E. An Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy Sets. – Heidelberg; New York: Physica-Verl., 2002. – 207 p.
- [19] Cintula, P. From Fuzzy Logic to Fuzzy Mathematics. – Czech.: Czech Technical University in Prague, 2004. – 147 p.
- [20] Fuzzy Logic – Algorithms, Techniques and Implementations / Ed. by P. Dadios, – Croatia.: InTech, 2012. – 294 p.
- [21] Nguyen, H. T., Wu, B. Fundamentals of Statistics with Fuzzy Data. – Heidelberg: Springer, 2006. – 204 p.
- [22] McNeill, F. M., Thro. E. Fuzzy Logic: A Practical Approach. – London, AP PROFESSIONAL, 1994. – 309 p.
- [23] Chen, G., Pham, T. T. Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems. USA: CRC Press, 2001. – 329 p.
- [24] Jin, Ya. Advanced Fuzzy Systems Design and Applications. – Warsaw: Springer Physica-Verlag, 2003. – 276 p.
- [25] Buckley, J. J. Simulating Fuzzy Systems. – Warsaw: Springer, 2005. – 208 p.
- [26] Viertl, R. Statistical Methods for Fuzzy Data. – New Delhi: WILEY, 2011. – 270 p.0.

Signal fusing of unequal accuracy information system based on fuzzy logic

V. M. Ponyatskij, A.V. Gorin

Abstract — When performing integration of several not uniformly precise signals of information systems one of the main problems consists in delimitation in which it is necessary to use this or that set of signals, and a way of fusion of signals. In article the method based on assessment of values of coordinates of the center of gravity of the resulting function of accessory of an indistinct system of a conclusion is considered. For determination of value of the center of gravity the following steps are used: the type of functions of accessory of entrances and exits of a system of an indistinct conclusion is set; borders of functions of accessory of entrances and exits of an indistinct system of a conclusion are entered; for functions of accessory of entrances the rated value of parameter of quality of information systems is set; for determination of coordinate of the center of gravity I. Mamdani's algorithm is used. According to the received trajectory of the center of gravity integration borders (border of operating modes) and the weight of information signals are defined. Change of a form of functions of accessory and the fields of their crossing (borders of operating modes) allows to change a form of a trajectory of the center of gravity from rated value of a signal with big variability concerning operating conditions, specifics of work of information systems, etc. thanks to what change of nature of scales of signals of information systems is possible. An example of integration of two information systems with different levels of a mean square deviation is reviewed, and it is shown that application of the method offered in article allows to receive as a result of integration a total signal with a mean square deviation smaller, than at the most exact kompleksiruyemy information system.

Keywords — information system; fusion; fuzzy logic; centre of gravity.

REFERENCES

1. Ponyatsky V. M. A way of increase in noise stability of a robotic system. Proceedings of XII international seminar "Su-percomputation and mathematical modeling" (October 11 - October 15, 2010) – Sarov, FSUE VNIIEF, 2011, P. 288-300.
2. Ponyatsky V. M. Fusion of results of processing and allocation of a source of useful radiation on the sequence of video images of Proc. TSU. "Radio engineering and radio optics" - Tula: TSU, 2013, V. XIII. P. 120-123.
3. Ponyatsky V. M. Fusion of measuring systems on the basis of Kallman filtration. Stochastic optimization in informatics. Interuniversity collection. / Under the editorship of O. N. Granichin – SPb.: Publishing house of SPb. - The St. Petersburg university, 2014. Volume 10 of the Issue 2. P. 37-41.
4. Ponyatsky V. M. Fusion of estimates of the coordinates of a vehicle received by different methods of processing of the sequence of video images (article) Proceedings of TSU. Technical science. Tula: TSU. 2015. Issue 2. P. 77-89/
5. Pogorelsky S. L., Ponyatsky V. M., Makaretsky E. A., Gublin, A. S., Ovchinnikov A. V. Increase in accuracy of measurement of parameters of an object on images on the basis of algorithmic fusion. Proceedings of TSU. Technical science. Issue 12. Part 2. Tula: TSU. 2016. P. 147-154
6. Ponyatsky V. M. Improvement of quality of the information processing arriving from several video sensors in tasks of control theory //Modern information technologies and IT education. 2016. V. 12, No. 4. P. 165-172. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28151074> (date of the address: 12.07.2018).
7. Ponyatsky, V. M., Galangte, A. I., Egorov, D. B., Makaretsky, E. A. Selection of images of a useful source of radiation against the background of hindrances by complex criterion / Proceedings of TSU. Radio engineering and radio optics. Tula: Publish-ing house of TSU, 2013. V. XIII. P. 131 – 136.
8. Egorov D. B., Ponyatsky V. M., Makaretsky E. A. Allocation of the crossed trajectories of objects on the sequence of the video images. Proceedings of TSU. Technical science. 2013. No. 6-2. P. 200-205.
9. Pogorelsky S. L., Ponyatsky V. M., Egorov D. B., Makaretsky E. A., Ovchinnikov A. V., Gublin A. S. A complex for a re-search of processing of a video information. Proceedings of TSU. Technical science. Issue 12. Part 2. Tula: TSU. 2016, P. 135-147.
10. Makaretsky E. A., Ponyatsky V. M., Eremin N. N. A method of increase in efficiency of segmentation in the system of tracking traffic flows (article). Collection of materials of IX International conference "Recognition-2010". Optical-electronic devices and devices in the systems of recognition of images, processing of images and symbolical information. – Kursk. KSTU. 2010. P. 39-41.
11. Ponyatsky V. M., Galangte A. I., Makaretsky E. A. Features of design of algorithms of processing of images in television measuring systems. Collection of reports MODELLING of AVIATION SYSTEMS. State scientific center of the Russian Federation of "Federal State Unitary Enterprise State Research Institute of Aviation Systems"; Russian Academy of Sciences; Russian Federal Property Fund. 2011. V. 3. P. 121-127.
12. Pogorelsky, S. L., Chinaryov, A. V., Semikozov, A. M. An integrated approach to improvement of images of the com-bined tele-and infra-devices / Proceedings of TSU. Technical science. Tula.: Publishing house of TSU, 2012. Issue 7. P. 291 – 296.
13. Shtovba, S. D. Design of fuzzy systems by MATLAB. – M.: Goryachaya Liniya – Telecom, 2007. – 288 p.
14. Pegat, A. Fuzzy modelling and control. – the 2nd ed. – M.: BINOMIAL. Laboratory of knowledge, 2013. – 798 p.

- 15 Leonenkov, A. V. Fuzzy modelling in the environment of MATLAB and fuzzyTECH. – SPb.: BHV-St. Petersburg, 2003. – 736 p.
- 16 Bukhalyov, V. A. Optimum smoothing in systems with accidental spasmodic structure. – M.: FIZMATLIT, 2013. – 188 p.
- 17 Fikhtengolts, G. M. Course of differential and integral calculus. In 3 v. V. 1. – the 8th ed. – M.: FIZMATLIT, 2003. – 680 p.
- 18 Buckley, J. J., Eslami, E. An Introduction to Fuzzy Logic and Fuzzy Sets. – Heidelberg; New York: Physica-Verl., 2002. – 207 p.
- 19 Cintula, P. From Fuzzy Logic to Fuzzy Mathematics. – Czech.: Czech Technical University in Prague, 2004. – 147 p.
- 20 Fuzzy Logic – Algorithms, Techniques and Implementations / Ed. by P. Dadios, – Croatia.: InTech, 2012. – 294 p.
- 21 Nguyen, H. T., Wu, B. Fundamentals of Statistics with Fuzzy Data. – Heidelberg: Springer, 2006. – 204 p.
- 22 McNeill, F. M., Thro. E. Fuzzy Logic: A Practical Approach. – London, AP PROFESSIONAL, 1994. – 309 p.
23. Chen, G., Pham, T. T. Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems. USA: CRC Press, 2001. – 329 p.
- 24 Jin, Ya. Advanced Fuzzy Systems Design and Applications. – Warsaw: Springer Physica-Verlag, 2003. – 276 p.
- 25 Buckley, J. J. Simulating Fuzzy Systems. – Warsaw: Springer, 2005. – 208 p.
- 26 Viertl, R. Statistical Methods for Fuzzy Data. – New Delhi: WILEY, 2011. – 270 p