

ВЫБОР РЕЖИМА РАБОТЫ ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В.М. Понятский

Тульский государственный университет
Россия, 300012, Тула, просп. Ленина, 92
E-Mail: granat@home.tula.net

А.В. Горин

Тульский государственный университет
Россия, 300012, Тула, просп. Ленина, 92
E-Mail: gorin@tutanota.de

Ключевые слова: информационная система, выбор режима, комплексирование, нечеткая логика, центр тяжести.

Аннотация: При выполнении комплексирования сигналов от информационных систем одна из основных проблем заключается в определении границ, в которых следует использовать тот или иной набор сигналов, и самих режимов работы. Рассматривается подход, основанный на оценке значений координат центра тяжести результирующей функции принадлежности нечеткой системы вывода. В соответствии с полученной оценкой координаты центра тяжести определяются режимы работы и веса информационных сигналов.

1. Постановка задачи

При использовании нескольких информационных систем (ИС) изменение условий работы или появление помех может приводить к тому, что меняется характер информационных сигналов и возникают ситуации, когда необходим выбор режима 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) необходимостью определения весов информационных сигналов при комплексировании.

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

2. Метод комплексирования информационных систем, основанный на нечеткой логике

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

Метод комплексирования ИС, основанный на нечеткой логике, включает следующие шаги [2].

1) Определяется количество входов и выходов НСВ, в зависимости от количества комплекслируемых ИС и используемых критериев качества (общий вид такой НСВ представлен на рис. 1).

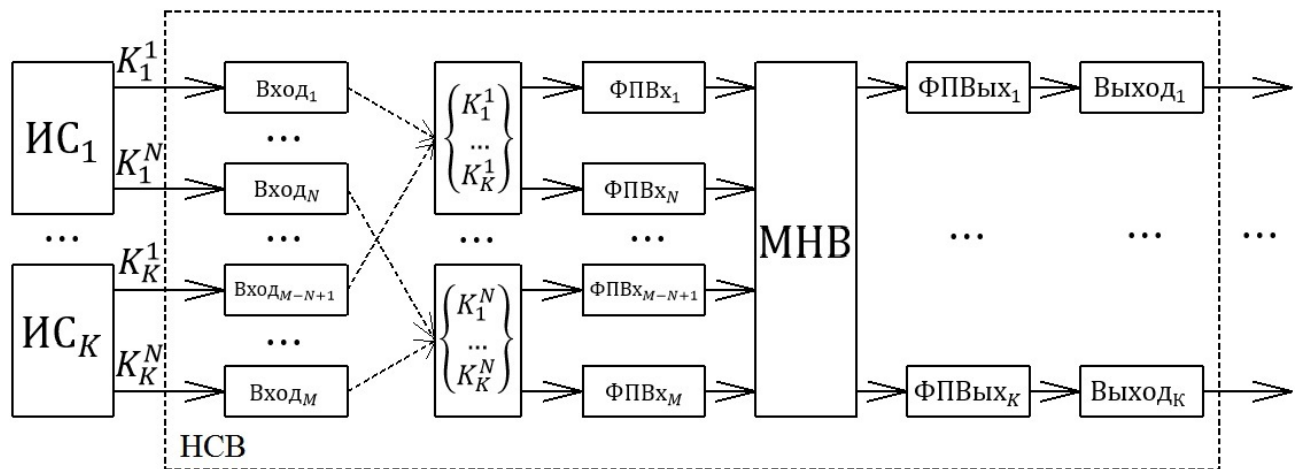


Рис. 1. Общий вид НСВ с M входами и K выходами: МНВ – модель нечеткого вывода, ФПВх – функция принадлежности входа, ФПВых – функция принадлежности выхода.

2) Определяется вид функций принадлежности $M = K \cdot N$ входов и K выходов НСВ.

3) Вводятся границы функций принадлежности входов ($\sigma_{вхi}$) и выходов ($\sigma_{выхi}$).

4) Для функций принадлежности входов задается нормированное значение параметра качества ИС, в общем случае определяемое как:

$$k_{ni}^j = \frac{k_i^j}{\sum_{i=1}^K k_i^j}, j = \overline{1, N},$$

где k_{ni}^j – нормированный показатель качества, k_i^j – j показатель качества i -ой ИС, K – количество комплекслируемых ИС, N – количество показателей качества.

5) Для определения координаты ЦТ используется один из алгоритмов нечеткого вывода, включающий формирование базы правил НСВ; фаззификацию входных переменных; агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций; агрегирование подзаключений в нечетких правилах продукций; аккумуляцию заключений нечетких правил продукций и дефаззификация выходных переменных (расчет координаты ЦТ).

3 Результаты

Рассмотрим случай, когда имеется две ИС и один критерий качества функционирования, за который принято СКО сигналов ИС.

Формирование траектории ЦТ включает следующие шаги:

1) Поскольку имеется две ИС и один критерий, используется НСВ с одним входом и одним выходом (рис. 2).

2) В качестве функций принадлежности входа и выхода НСВ используются левосторонние и правосторонние треугольные множества.

3) Границы функций принадлежности входов ($\sigma_{\text{вх}i}$) и выходов ($\sigma_{\text{вых}i}$) выбраны равными 0,7 и 0,2 соответственно.

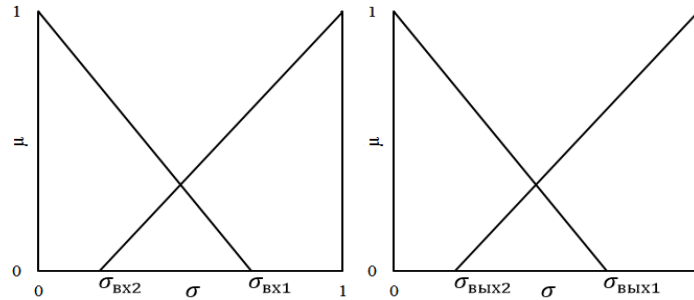


Рис. 2. Функции принадлежности входа и выхода (где $\sigma_{\text{вх}1}$ и $\sigma_{\text{вх}2}$ – границы функций входа, $\sigma_{\text{вых}2}$ и $\sigma_{\text{вых}1}$ – границы функций выхода).

4) Нормированное значение параметра качества ИС:

$$\sigma = \frac{\sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2},$$

где σ – нормированное значение; σ_1 – СКО выходного сигнала первой ИС; σ_2 – СКО выходного сигнала второй ИС.

Значение функции принадлежности входов и выходов (рис. 2) для нечетких множеств определяется формулами [1]:

$$\mu_{\text{пр}} = \begin{cases} 0, & \text{если } \sigma > \sigma_{\text{вх}1}; \\ \frac{\sigma_{\text{вх}1} - \sigma}{\sigma_{\text{вх}1}}, & \text{если } 0 \leq \sigma \leq \sigma_{\text{вх}1}; \end{cases} \quad \mu_{\text{лев}} = \begin{cases} 0, & \text{если } \sigma < \sigma_{\text{вх}2}; \\ \frac{\sigma - \sigma_{\text{вх}2}}{1 - \sigma_{\text{вх}2}}, & \text{если } 0 \leq \sigma \leq \sigma_{\text{вх}1}. \end{cases}$$

- интервал от 0 до $\sigma_{\text{вх}2}$ соответствует режиму, в котором используется только вторая ИС;
- интервал от $\sigma_{\text{вх}2}$ до $\sigma_{\text{вх}1}$ – режиму комплексирования;
- интервал от $\sigma_{\text{вх}1}$ до 1,0 – режиму использования только первой ИС).

5) Координаты ЦТ вычисляются с помощью алгоритма Мамдани, включающего следующие шаги [3]:

– формирование базы правил НСВ. База правил НСВ 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 $\sigma_1 \approx \sigma_2$, то $\sigma \in [\sigma_{\text{вых}2}; \sigma_{\text{вых}1}]$ и осуществляется комплексирование;

- фаззификация входных переменных;
- агрегирование подусловий в нечетких правилах продукций;
- агрегирование подзаключений в нечетких правилах продукций по формуле:

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

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

- аккумуляция заключений нечетких правил продукций по формуле

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

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

- дефаззификация выходных переменных (расчет координаты ЦТ).

Координаты ЦТ вычисляются по формуле:

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

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

Процесс оценки координат и построение траектории $ЦТ(\sigma)$ на примере НСВ с одним нормируемым показателем качества представлен на рисунке 3.

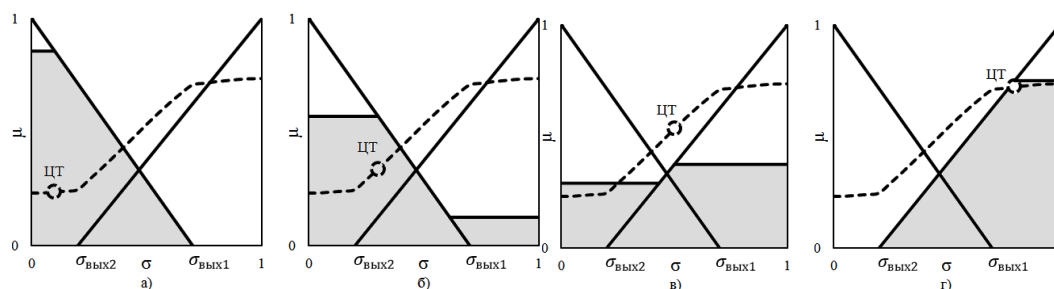


Рис. 3. Построение траектории зависимости $ЦТ(\sigma)$.

Изменение формы функций принадлежности и областей пересечения функций принадлежности позволяет изменять форму траектории ЦТ 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 ИС с большей точностью, и участок комплексирования, можно повысить приоритет этих режимов, что физически можно интерпретировать как необходимость пройти больший путь, прежде чем будет осуществлено переключение на другой режим работы.

Для реализации полученного алгоритма в системе реального времени с ограниченными вычислительными ресурсами можно использовать заранее рассчитанную траекторию ЦТ в виде ломаной, полученной в соответствии с рассматриваемым методом (рис. 4).

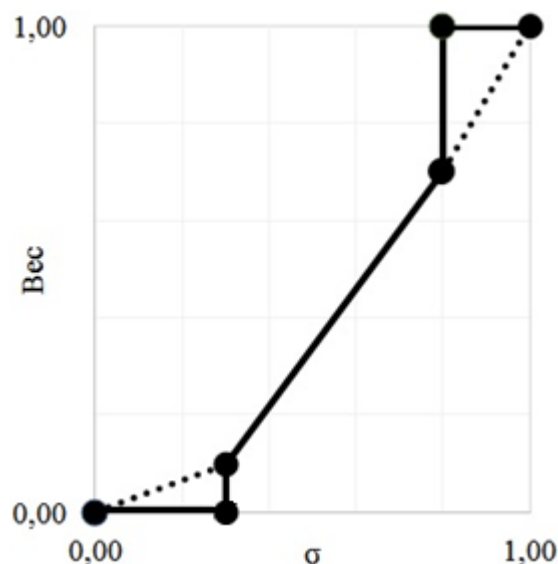


Рис. 4. Траектория ЦТ, использованная при моделировании.

Веса первой и второй ИС определяются как:

$$\text{Вес}_{ИС_1} = 1 - \text{Вес}(\sigma), \quad \text{Вес}_{ИС_2} = \text{Вес}(\sigma)$$

На рис. 5 представлены два сигнала: первый сигнал – синус, на который наложен шум с математическим ожиданием 0 и СКО 2 ед., второй сигнал – синус, шум которого имеет параметры 0 и 3 ед. соответственно.

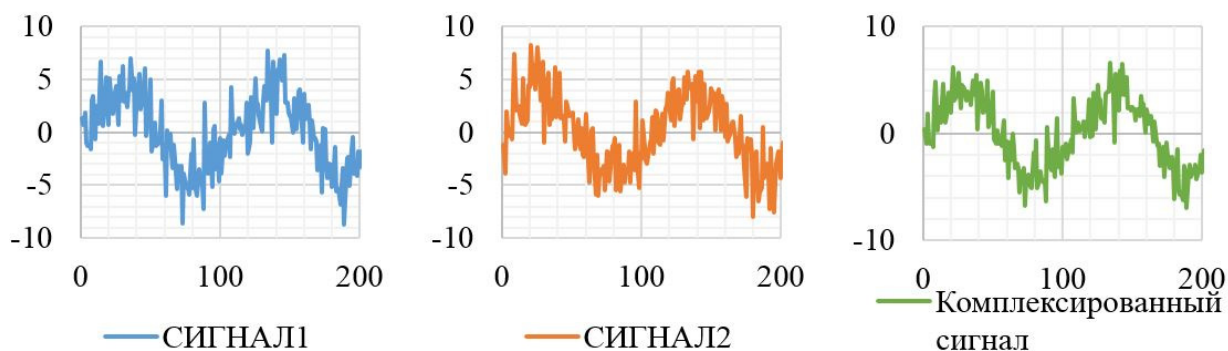


Рис. 5. Два сигнала, представляющие собой зашумленный синус с амплитудой 4 (слева) и сигнал, полученный комплексированием (справа)

СКО комплексированного сигнала равно 1,48 ед., т. е. СКО суммарного сигнала меньше, чем СКО самого точного сигнала от комплексировуемых ИС.

4. Выводы

Введение нечеткой логики в процесс комплексирования ИС обеспечивает решение задачи определения границ режимов функционирования ИС 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 ИС с разными уровнями

СКО позволяет получить СКО суммарного сигнала меньшим, чем СКО самой точной комплексируемой ИС.

Список литературы

1. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.
2. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / 2-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.