

Алгоритмы муравьиной колонии в задачах параметрической идентификации нечетких систем

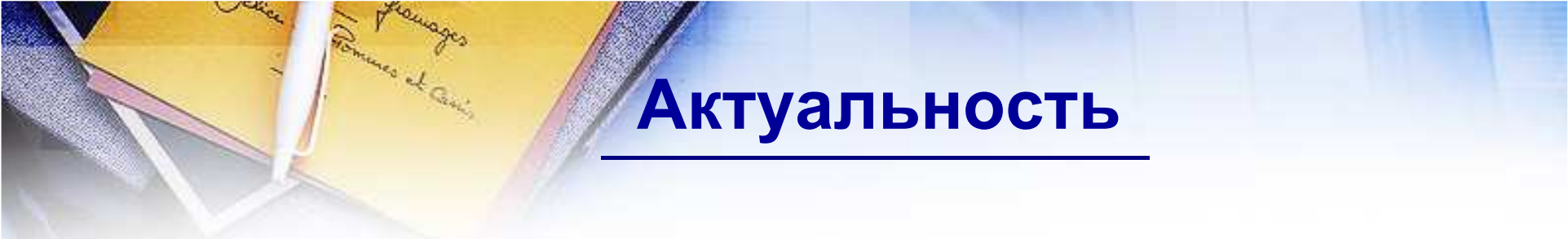
Дудин Павел Анатольевич,

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники,
факультет систем управления,
аспирант, 3 год

Руководитель:

Ходашинский Илья Александрович,

д.т.н., профессор каф. АОИ



Актуальность

Проблема: 1) невозможность построения аналитической модели изучаемого объекта, либо слишком высокая сложность модели;
2) отсутствие достаточного опыта для построения экспертных систем;
3) недостаточность экспериментальных данных для статистического моделирования.

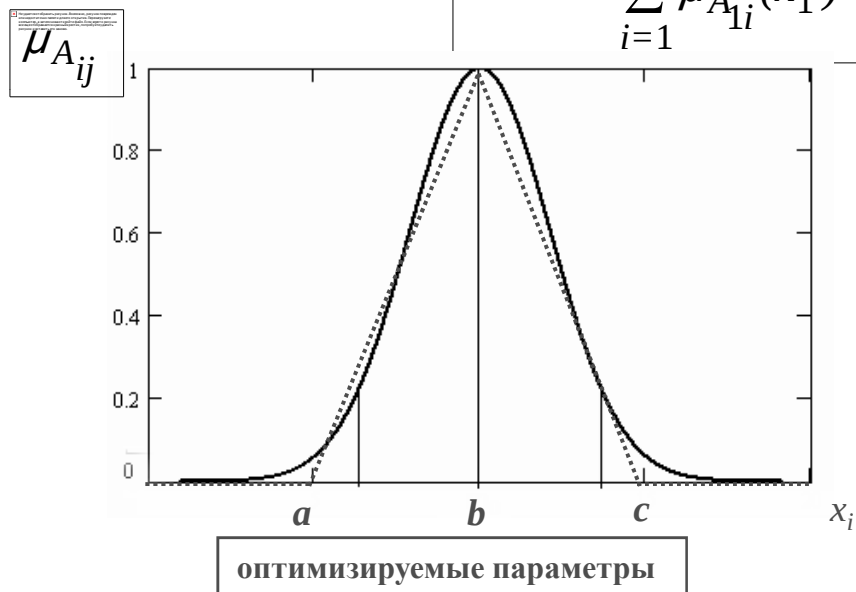
Решение: Построение нечеткой модели на основе наблюдаемых данных, либо на основе знаний эксперта

Нечеткие системы

Правило i : **ЕСЛИ** $x_1 = A_{1i}$ **И** $x_2 = A_{2i}$ **И** ... **И** $x_n = A_{ni}$ **ТО** $y = r_i$;

Вывод

$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^R \mu_{A_{1i}}(x_1) \cdot \mu_{A_{2i}}(x_2) \cdot \dots \cdot \mu_{A_{ni}}(x_n) \cdot r_i}{\sum_{i=1}^R \mu_{A_{1i}}(x_1) \cdot \mu_{A_{2i}}(x_2) \cdot \dots \cdot \mu_{A_{ni}}(x_n)}$$



x – входной вектор,
 A_{ji} – лингвистический терм,
 r_i – действительное число (синглтон)
 R – число правил,
 n – количество входных переменных,
 $\mu_{A_{ij}}$ – функция принадлежности.

Процесс оптимизации



x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}	$F(x_1)$
x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}	$F(x_2)$
...	...	...	...	...
x_{N1}	x_{N2}	...	x_{Nn}	$F(x_N)$

Критерий – ошибка вывода ε

$$\frac{\sum_{i=1}^N |f(x_i) - F(x_i)|}{N} \quad \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (f(x_i) - F(x_i))^2}}{N}$$

$$\max_i |f(x_i) - F(x_i)|$$

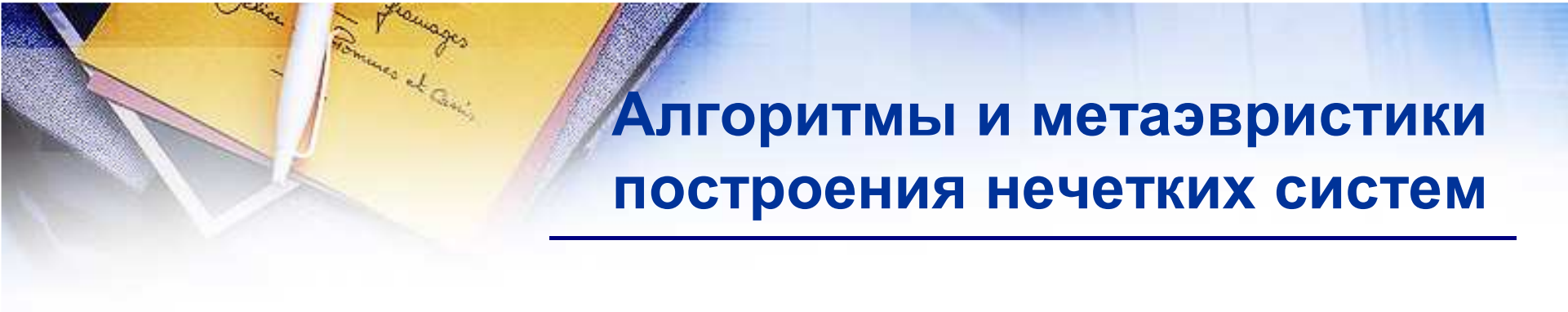
Результат оптимизации

Треугольная ФП, два входа, пять термов для одного входа

Ошибка	a_{11}	b_{11}	c_{11}	a_{12}	b_{12}	c_{12}	...	a_{24}	b_{24}	c_{24}	a_{25}	b_{25}	c_{25}	r_1	...	r_{25}
антецедент										консеквент						

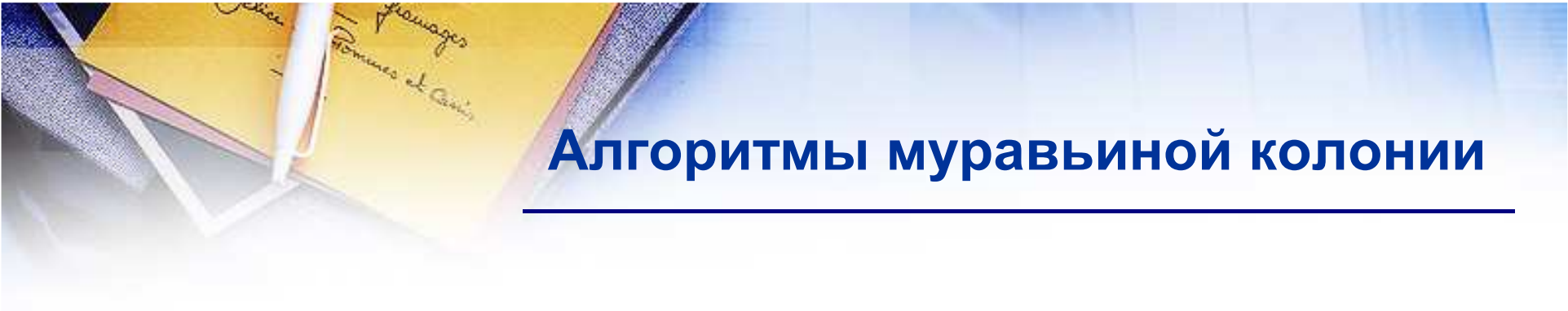
Гауссова ФП, два входа, пять термов для одного входа

Ошибка	b_{11}	σ_{11}	b_{12}	σ_{12}	...	b_{24}	σ_{24}	b_{25}	σ_{25}	r_1	...	r_{25}
антецедент										консеквент		



Алгоритмы и метаэвристики построения нечетких систем

- Методы основанные на производных
 - Градиентный Метод
 - Метод Наименьших Квадратов
 - Фильтр Калмана
 - Левенберга-Марквардта
- Метаэвристики
 - Генетический Алгоритм
 - Алгоритм Муравьиной Колонии
 - Алгоритм Роящихся Частиц
 - Метод имитации отжига



Алгоритмы муравьиной колонии

- Дискретный алгоритм муравьиной колонии (ДАМК)
- Непрерывный алгоритм муравьиной колонии (НАМК)
- Прямой алгоритм муравьиной колонии (ПАМК)

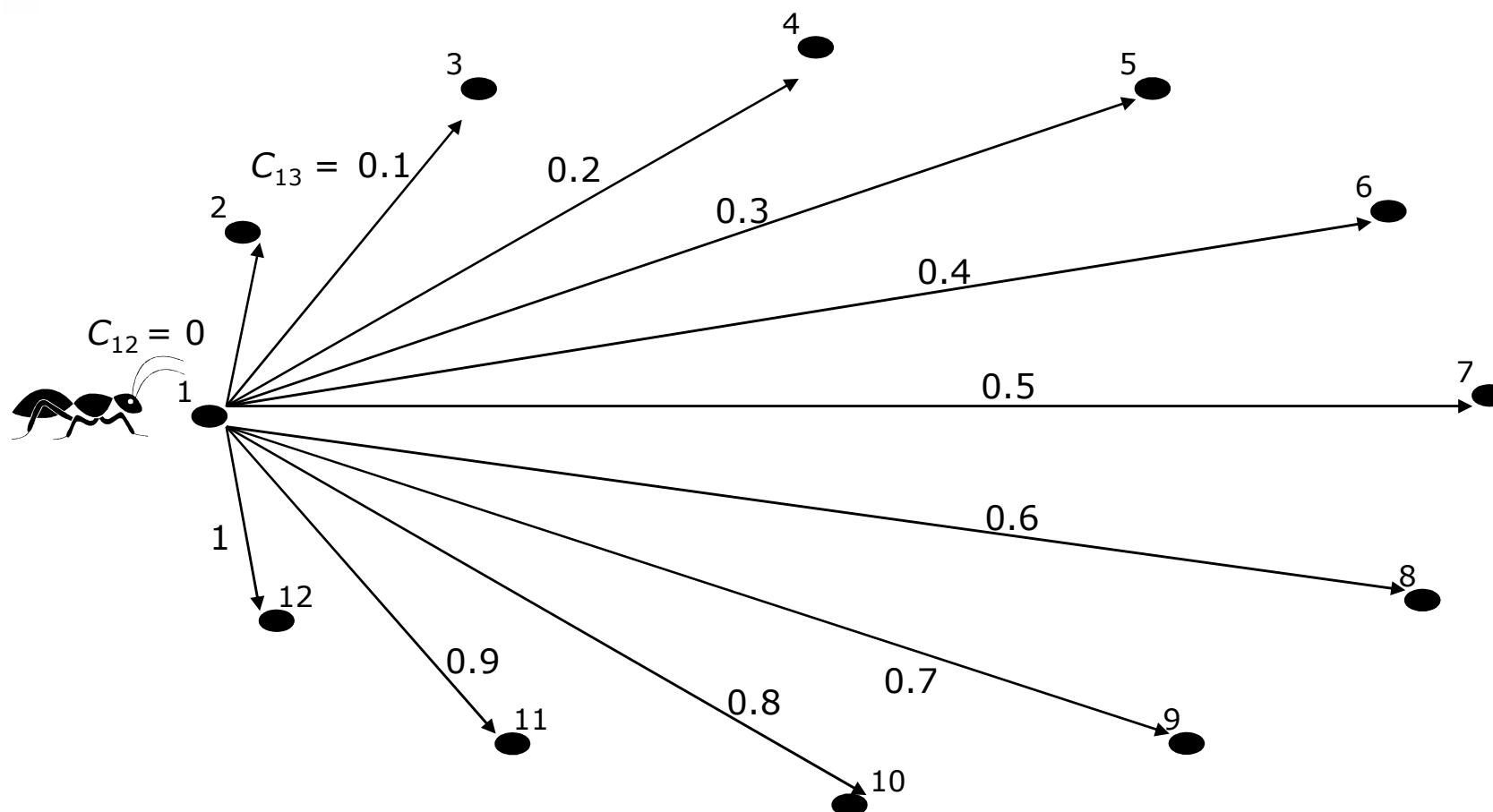


Концепция алгоритма муравьиной колонии

- *Муравьи ищут самые короткие пути к источнику пищи.*
- *Каждый муравей считывает и оставляет следы феромона на своем пути.*
- *Следы феромона испаряются.*
- *Распределение феромонов определяет вероятность выбора в пространстве решений.*



Фрагмент орграфа поиска для муравья, находящегося в вершине 1



Дискретный АМК

1. Задать начальные параметры алгоритма и нечеткой системы.
2. Задать популяции муравьев в колониях.
3. Для всех муравьев текущей колонии определить дуги, для которых вероятности выбора максимальны.
4. Передать в нечеткую систему значения параметров функций принадлежности, определенных муравьями текущей колонии, и вычислить ошибки. Если параметры, переданные муравьем в нечеткую систему, лучше текущих, то сохранить новые значения параметров.
5. Если имеется следующая колония, то сделать ее текущей и перейти на шаг 3, иначе перейти на шаг 6.
6. Вычислить количество фермента на каждой дуге.
7. Вычислить количество испаренного фермента.
8. Если условие окончание работы алгоритма выполнено, то ВЫХОД, иначе перейти к шагу 2.

Формулы, используемые в дискретном АМК

$$P = \frac{\tau(r,u)^\alpha}{\sum \tau(r,u)^\alpha}$$

вероятность выбора дуги

$$\Delta \tau_{ij}^k = \frac{Q}{L^k(t)}$$

количество фермента, наносимого на дуги

$$\tau_{ij}(t+1) = (\sum_k \Delta \tau_{ij}^k + \tau_{ij}(t)) \cdot \rho$$

увеличение количества фермента

$$\tau_{ij}(t+1) = \tau_{ij}(t) \cdot (1 - \rho)$$

испарение фермента

где α – вес фермента,

$\tau(r,u)$ – интенсивность фермента на грани между узлами r и u .

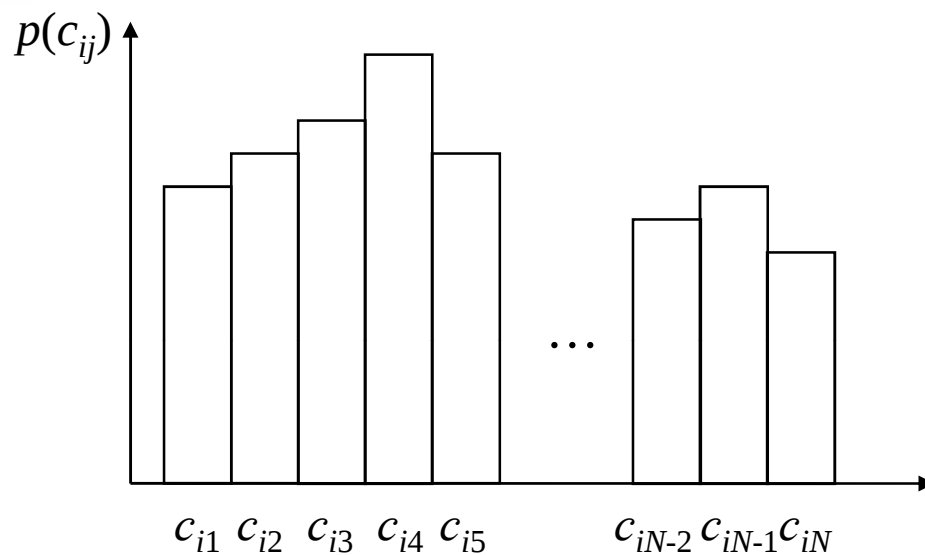
Q – количество фермента у муравья,

$L^k(t)$ – значение ошибки,

$\Delta \tau_{ij}^k$ – количество нанесенного фермента.

$\rho \in [0;1]$ – коэффициент снижения интенсивности фермента.

Вероятность выбора дуги



$$p(c_{ij}) = \frac{\tau(i, j)^\alpha}{\sum \tau(i, j)^\alpha}$$

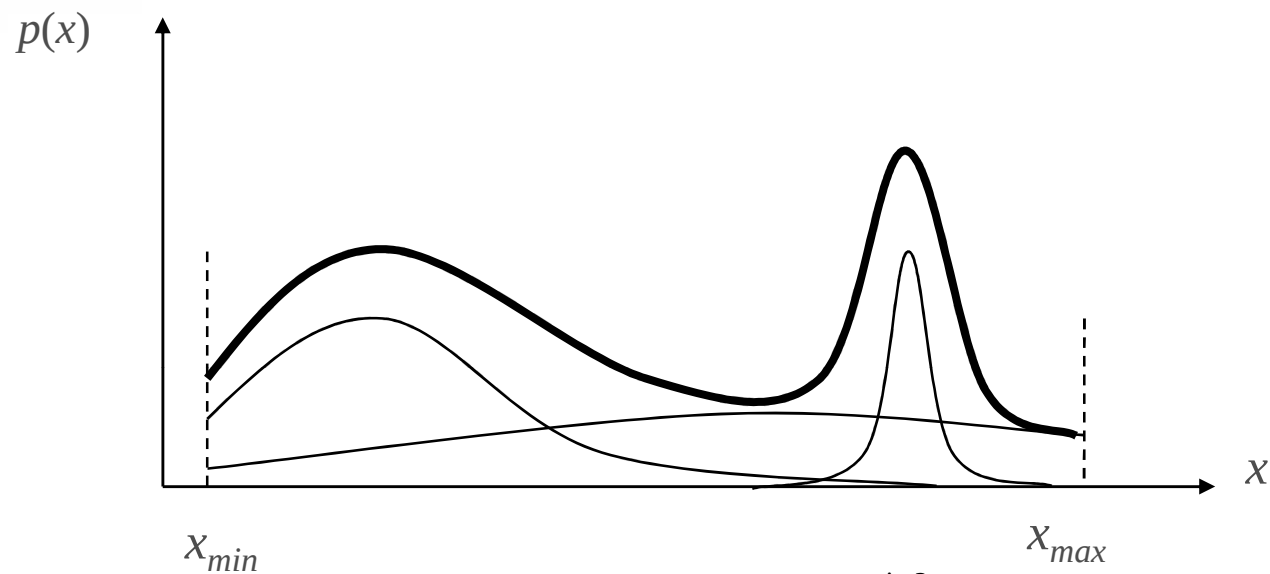
где c_{ij} – это вес дуги $(i:j)$,

N – количество вершин,

α – эмпирический коэффициент, определяющий значимость фермента,

$\tau(i,j)$ – интенсивность фермента на грани между узлами i и j .

Функция плотности вероятности



$$G^i(x) = \sum_{l=1}^k \omega_l \frac{1}{\sigma_l^i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_l^i)^2}{2\sigma_l^{i^2}}}$$

где $G^i(x)$ – Гауссово ядро номер i ,
 ω_l – вес l -й функции Гаусса

Непрерывный АМК

Архив решений

s^1_1	s^2_1	...	s^m_1		ε_1	ω_1
s^1_2	s^2_2	...	s^m_2		ε_2	ω_2
...	...	...	...		...	...
s^1_k	s^2_k	...	s^m_k		ε_k	ω_k

s^i - параметр функции принадлежности

Формулы, используемые в непрерывном АМК

$$\omega_l = \frac{1}{qk\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l-1)^2}{2q^2k^2}}$$

вес l -го решения

$$p_l = \frac{\omega_l}{\sum_{r=1}^k \omega_r}$$

вероятность выбора l -й функции Гаусса

$$m_l^i = s_l^i$$

математическое ожидание функции Гаусса

$$\sigma_l^i = \xi \sum_{e=1}^k \frac{|s_e^i - s_l^i|}{k-1}$$

среднеквадратическое отклонение функции Гаусса

где q – коэффициент сходимости алгоритма,
 ξ – коэффициент скорости испарения фермента.

Прямой АМК

$$\sigma_i = \frac{b_i - a_i}{2}$$

начальные значения параметра σ

$$\mu(t) = (1 - \rho) \mu(t-1)$$

$$\sigma(t) = (1 - \rho) \sigma(t-1)$$

увеличение количества фермента

$$\mu(t) = \mu(t) + \rho \theta(t)$$

$$\sigma(t) = \sigma(t) + \rho |\theta(t) - \mu(t)|$$

испарение фермента

$$d_j = \sigma_j \text{ rand}$$

значение интервала локального поиска

$$cf = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{2\sigma_j}{b_j - a_j}}{N}$$

параметр конвергенции

где μ, σ – параметры нормального распределения
 ρ – эмпирический коэффициент испарения фермента
 rand – равномерно распределенное число в интервале $[0,1]$

Программная форма параметров нечеткой системы

Нечеткая система

Файл Функции Перейти О программе Выход

Общее

☒ Шаг дискретизации

☐ Количество интервалов

Количество переменных

Ошибки

Средняя абсол. ошибка

Средняя квадрат. ошибка

Максимальная ошибка

Переменная номер 1



Количество термов

Нижняя граница

Верхняя граница

Сгенерировать равномерные параметры

Найти ошибки

Алгоритм муравьиной колонии

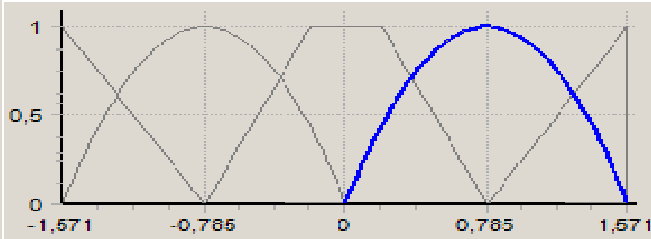
АМКг

МНК

Градиентный метод

	ФП	1	2	3	4
1	-1,57079	-1,57079	-0,78539	(null)	
2	-0,78539	0,78539	(null)	(null)	
3	-0,78539	-0,2	0,2	0,78539	
4	0,78539	0,78539	(null)	(null)	
5	0,78539	1,57079	1,57079	(null)	
*					

Изменить тип выделенных ФП



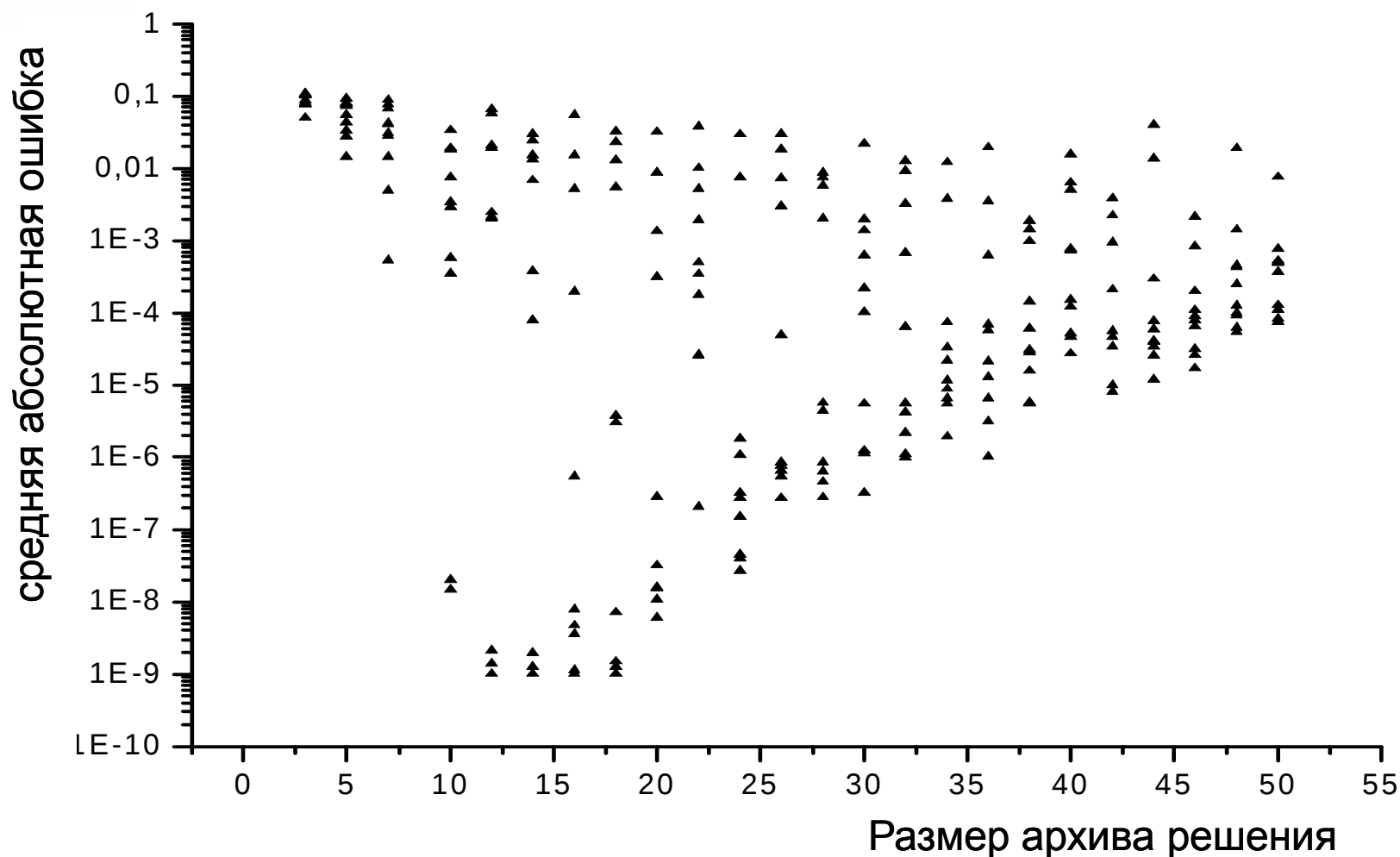
Исследуемые функции

$$f(x_1, x_2) = x_1 \cdot \sin(x_2)$$

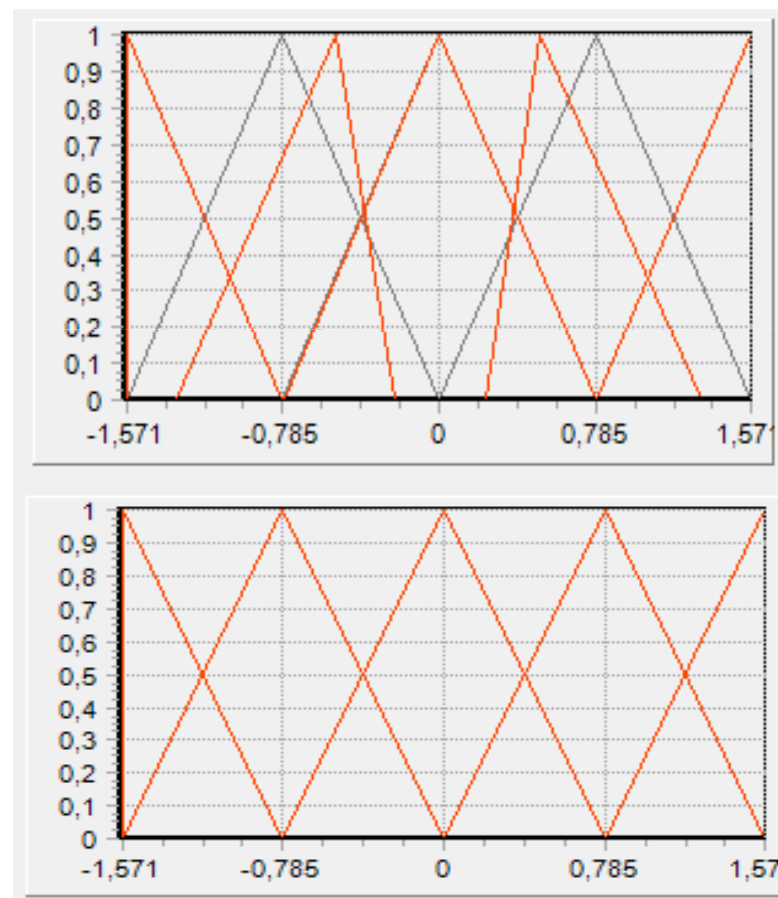
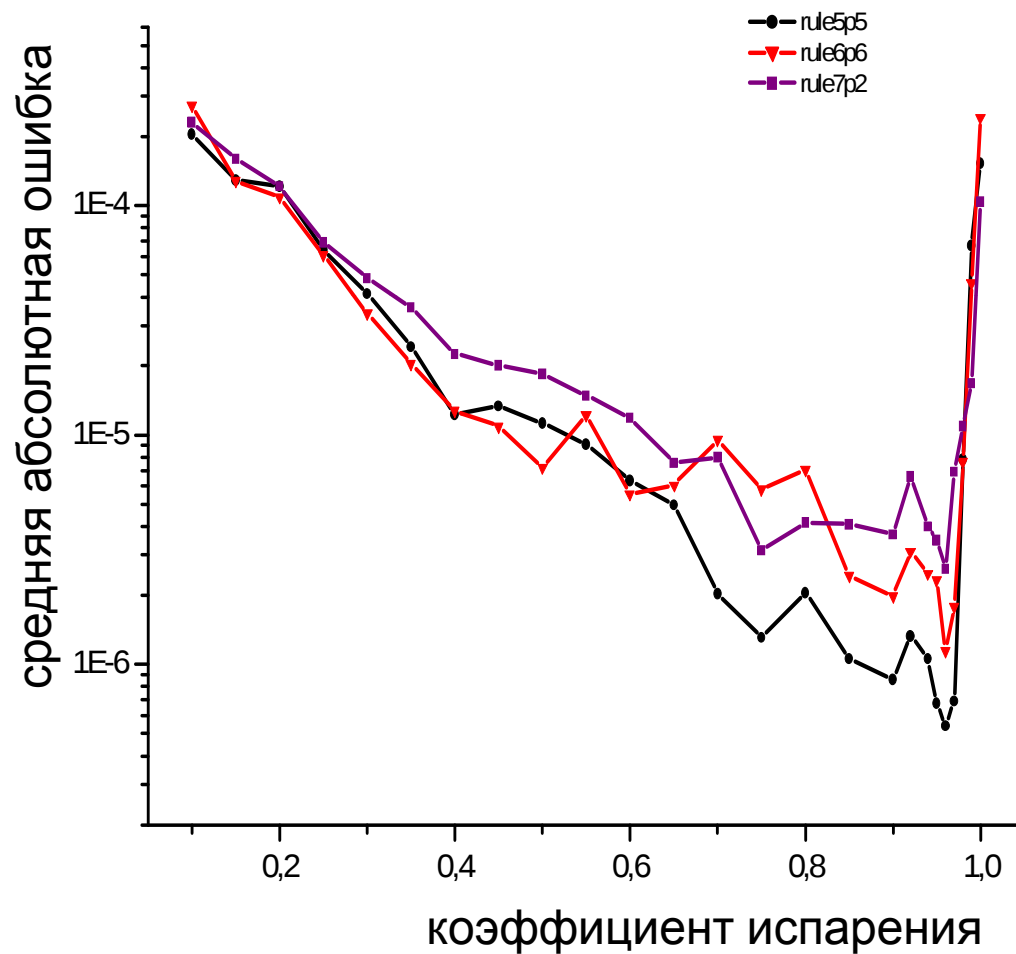
$$x_1, x_2 \in [-\pi/2; \pi/2]$$

НАМК	Количество итераций	50
	Количество муравьев	10
	Размер архива решений k	10
	Коэффициент сходимости алгоритма q	0,1
	Коэффициент скорости испарения ξ	1
ДАМК	коэффициент испарения ρ	0,4
	Количество муравьев	20
	α	1
	Количество фермента - Q	0,1
	Нач количество феромона	10
ПАМК	Коэффициент испарения ρ	0,95
	Шаг дискретизации	15
НС	Шаг дискретизации наблюдений	$\pi/10$
	Количество термов	5

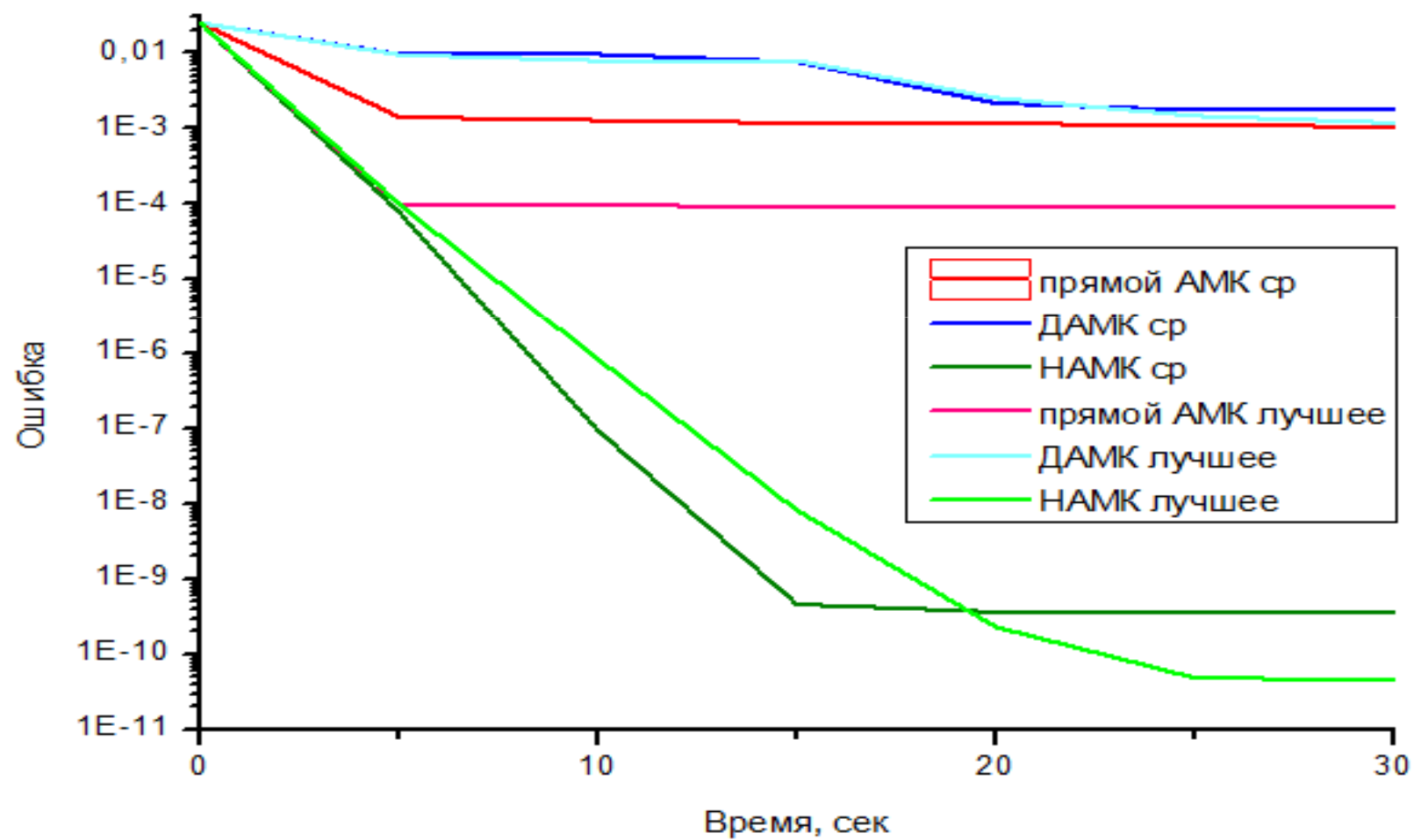
Исследование размера архива решений



Исследование коэффициента испарения



Результаты





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Алгоритм идентификации (НАМК)

Шаг 1. Задать начальные параметры. Сделать текущим первого муравья первой колонии.

Шаг 2. Для текущего муравья текущей колонии вычислить номер, используемых функций Гаусса. Определить параметры функций Гаусса. Сгенерировать n случайных величин $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ на основе полученных функций.

Шаг 3. Найти ошибку НС на параметрах $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, если ошибка меньше текущей, то сохранить новые параметры в НС.

Шаг 4. Добавить в архив решений новое решение, проранжировать архив, удалить из архива худшее решение.

Шаг 5. Если в текущей колонии имеется следующий муравей, то сделать его текущим и перейти к шагу 2.

Шаг 6. Если имеется следующая колония, то сделать текущим первого муравья в этой колонии и перейти на шаг 2.

Шаг 7. Если условие окончание работы алгоритма выполнено, то ВЫХОД, иначе сделать текущим первого муравья первой колонии и перейти к шагу 2.