
Оптимизация параметров нечетких моделей методами роевого интеллекта

И.А. Ходашинский,

профессор

кафедры автоматизации обработки информации

Томского университета систем управления и радиоэлектроники

hodashn@rambler.ru



Краткий обзор

1. Нечеткие системы
2. Алгоритм роящихся частиц
3. Алгоритм пчелиной колонии
4. Алгоритмы муравьиной колонии
 - дискретный
 - непрерывный
 - прямой
5. Эксперимент

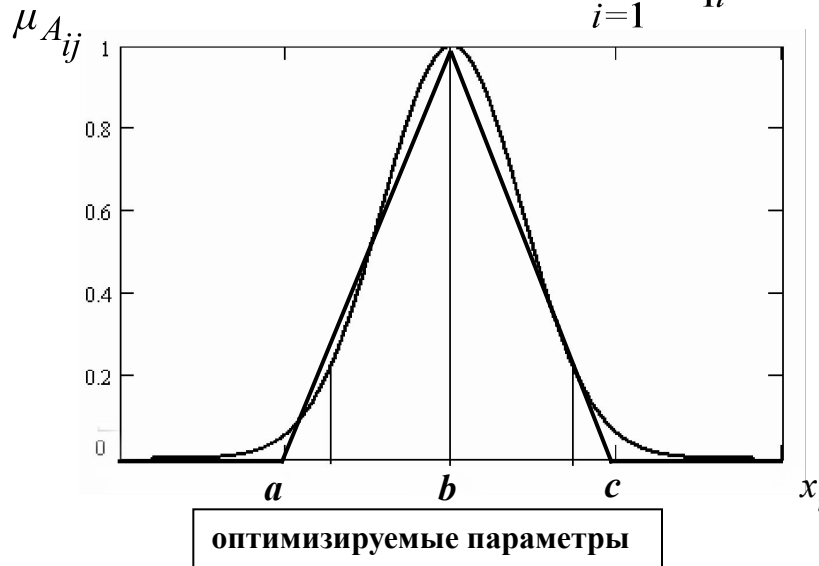


Нечеткие системы

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,
 R – число правил,

n – количество входных переменных,

$\mu_{A_{ij}}$ – функция принадлежности.

Процесс оптимизации



x_{11}	x_{12}	...	x_{1n}	$F(\mathbf{x}_1)$
x_{21}	x_{22}	...	x_{2n}	$F(\mathbf{x}_2)$
...
x_{N1}	x_{N2}	...	x_{Nn}	$F(\mathbf{x}_N)$

Критерий – ошибка вывода ε

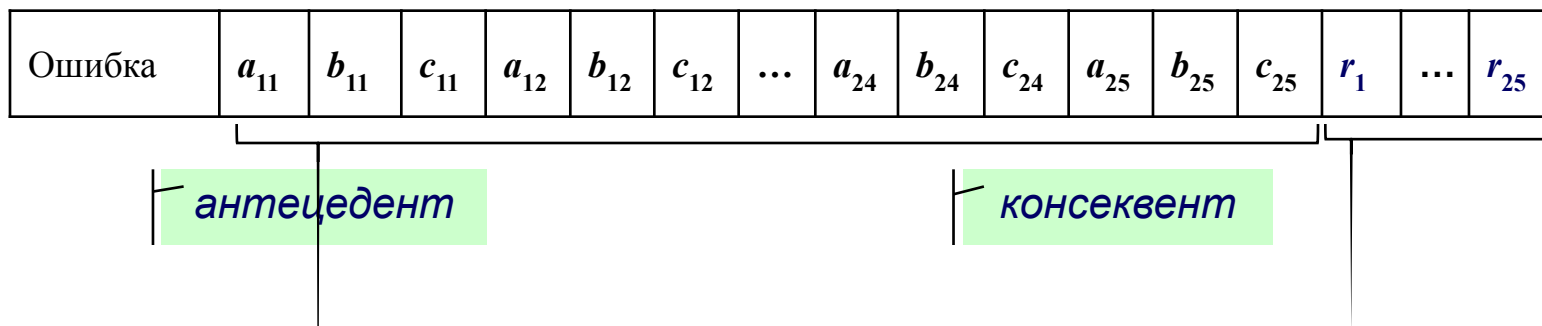
$$\frac{\sum_{i=1}^N |f(\mathbf{x}_i) - F(\mathbf{x}_i)|}{N}$$

$$\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (f(\mathbf{x}_i) - F(\mathbf{x}_i))^2}}{N}$$

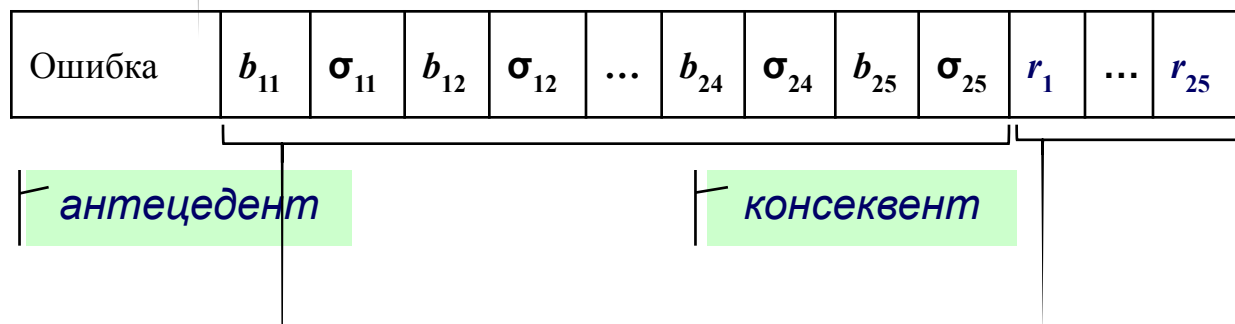
$$\max_i |f(\mathbf{x}_i) - F(\mathbf{x}_i)|$$

Результат оптимизации

Треугольная ФП, два входа, пять термов для одного входа



Гауссова ФП, два входа, пять термов для одного входа



Рой, колония, стая

Децентрализация и самоорганизация,
простые правила взаимодействия



Концепция алгоритма роящихся частиц

- *Координаты* $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ определяют параметры нечеткой системы.
- *Каждая частица оценивает свою позицию в пространстве поиска.*
- *Каждая частица помнит свою лучшую позицию.*
- *Каждая частица знает лучшую позицию в рое.*
 $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$
- *Скорость* динамически корректируется.

Алгоритм роящихся частиц

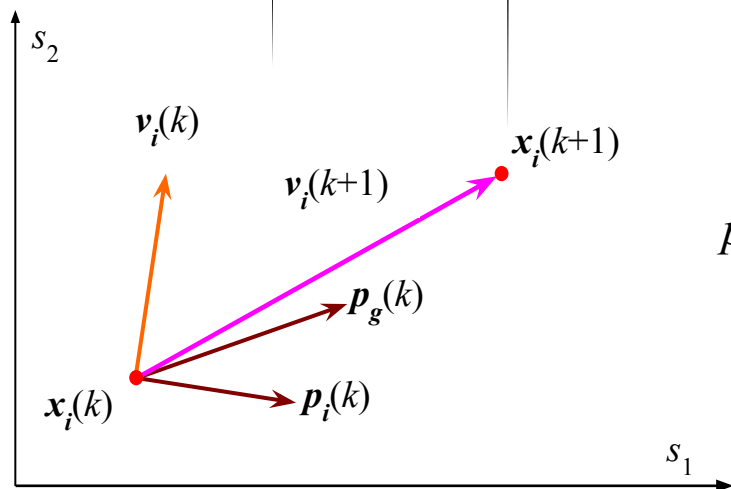
$$\mathbf{x}_i(k+1) = \mathbf{x}_i(k) + \mathbf{v}_i(k+1)$$

$$\mathbf{v}_i(k+1) = w \cdot \mathbf{v}_i(k) + c_1 \cdot \text{rand} \cdot (\mathbf{p}_i(k) - \mathbf{x}_i(k)) + c_2 \cdot \text{Rand} \cdot (\mathbf{p}_g(k) - \mathbf{x}_i(k))$$

инерция

память

сотрудничество



$\mathbf{p}_i(k)$ – лучшая позиция i -ой частицы,
 $\mathbf{p}_g(k)$ – лучшая позиция частицы в рое,

c_1 – когнитивный параметр,

c_2 – социальный параметр



Концепция алгоритма пчелиной колонии

- *Отсутствие иерархии и централизованного управления*
- *Обратная связь*
- *Временная специализация: Разведчики и Фуражиры*
- *Распределение фуражиров в зависимости от полезности ресурса*



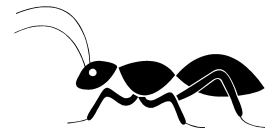
Алгоритм пчелиной колонии

1. *Задание начальных значений.*
2. *Для каждого разведчика формирование случайного решения.*
3. *Определение лучшего решения.*
4. *Формирование массива фуражиров.*
5. *Формирование новых решений на базе фуражиров и лучшего решения.*
6. *Вычисление нормированной ошибки новых и старых решений.*
7. *Формирование массива разведчиков и фуражиров.*
8. *Если выполнено условие останова, то ВЫХОД, иначе переход на шаг 2.*

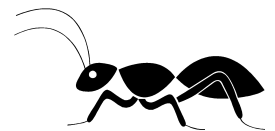
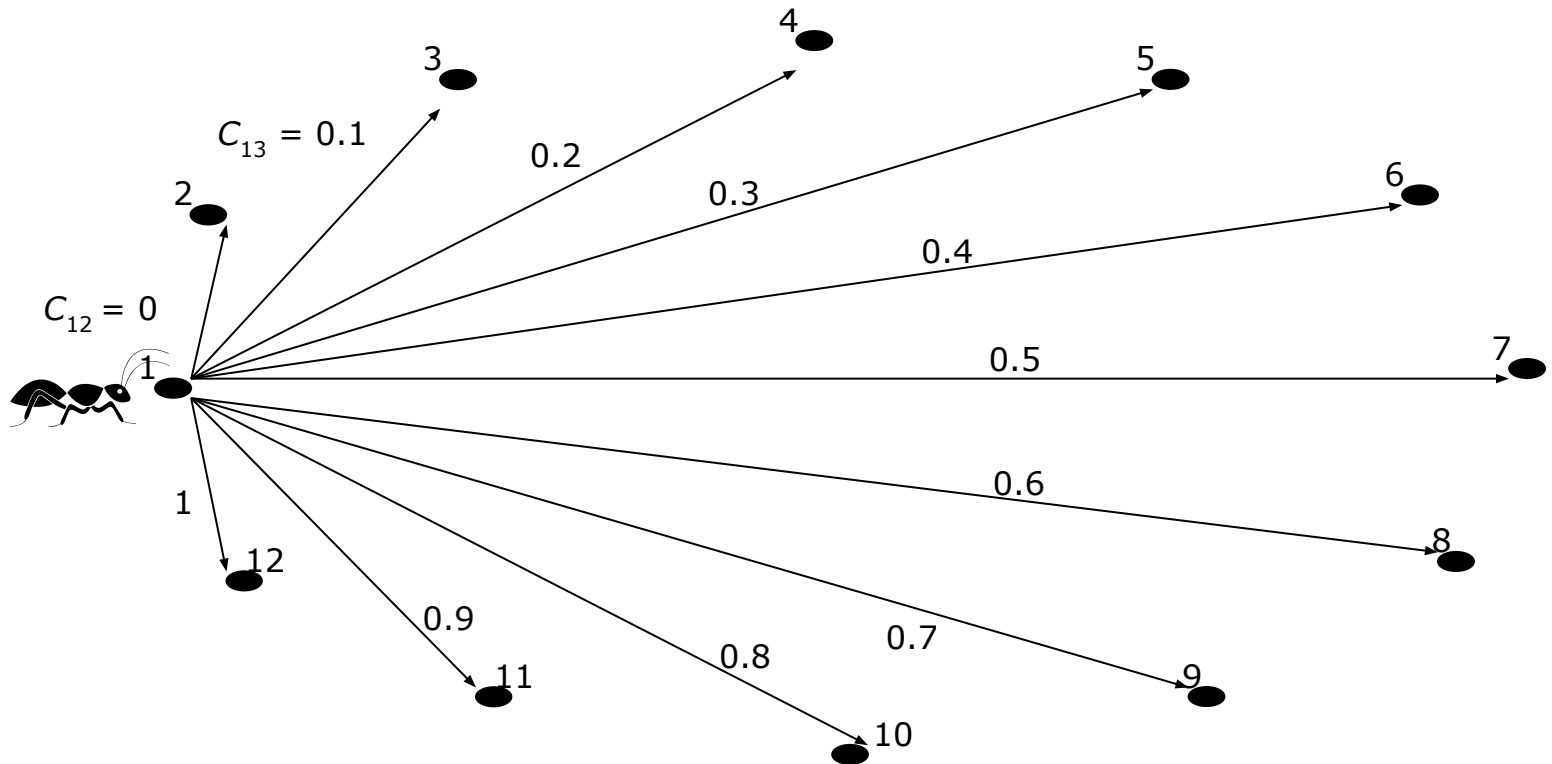
Концепция алгоритма муравьиной колонии



- *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.*



Дискретный АМК



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 окончания работы алгоритма выполнено, то **ВЫХОД**, иначе перейти к шагу 2.



Дискретный АМК



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

количество феромона,
наносимого на дуги

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

увеличение количества
феромона

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

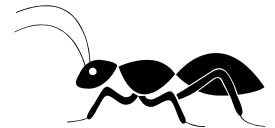
испарение феромона

где Q – количество феромона у муравья,

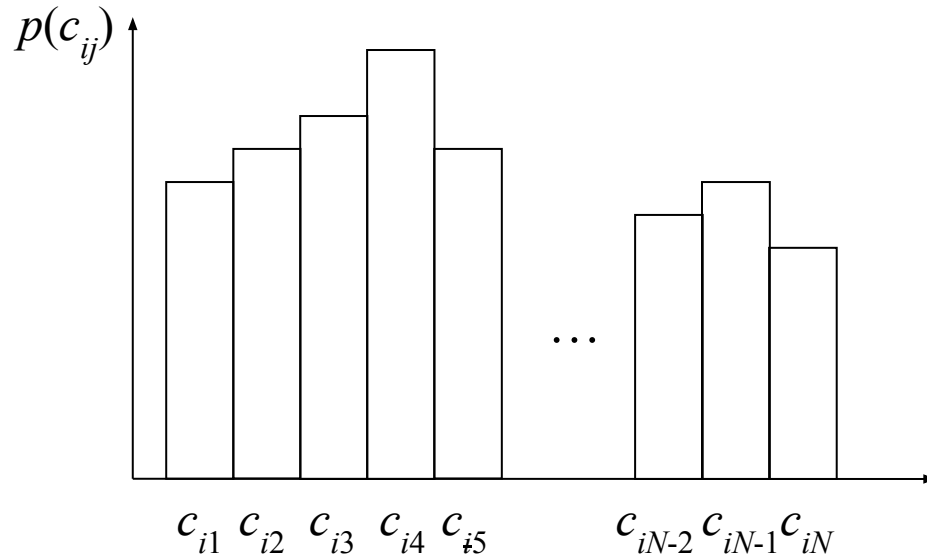
$L^k(t)$ – значение ошибки,

$\Delta\tau_{ij}^k$ – количество нанесенного феромона,

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

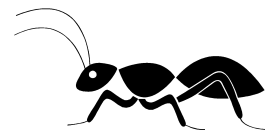


Дискретный АМК

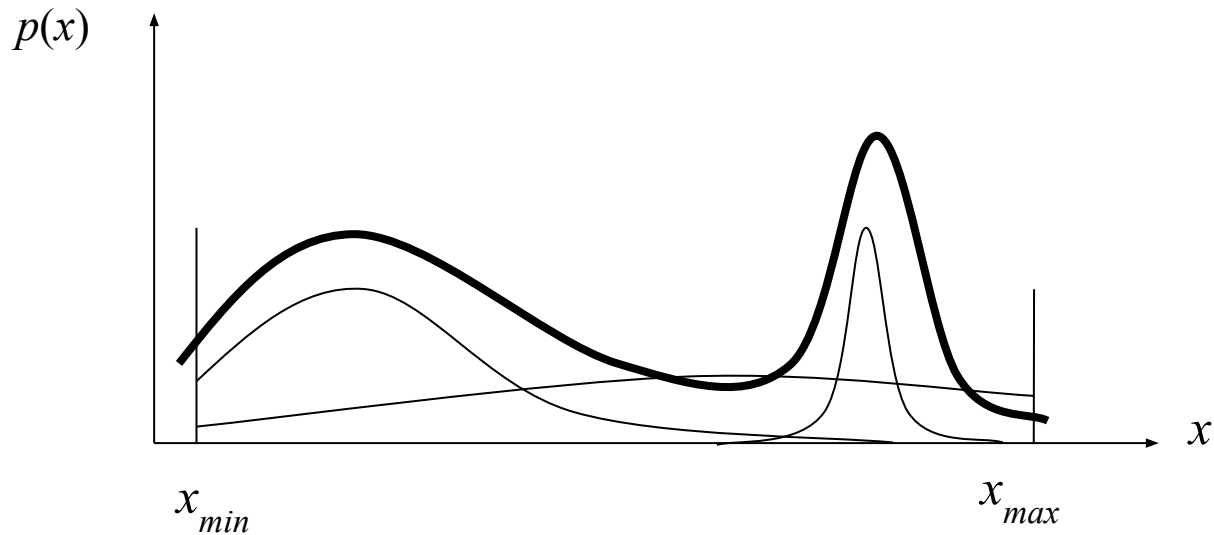


$$p(c_{ij}) = \frac{\tau(i, j)^\alpha}{\sum \tau(i, j)^\alpha}$$

где c_{ij} – это вес дуги $(i;j)$ или нормированное значение параметра,
 N – количество вершин,
 α – эмпирический коэффициент, определяющий значимость фермента,
 $\tau(i,j)$ – интенсивность фермента на дуге $(i;j)$.



Непрерывный АМК



$$G^i(x) = \sum_{l=1}^k \omega_l \frac{1}{\sigma_l^i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_l^i)^2}{2\sigma_l^{i2}}}$$

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



Непрерывный АМК



Архив решений

s_{1}^1	s_{1}^2	...	s_{1}^m	ε_1	ω_1
s_{2}^1	s_{2}^2	...	s_{2}^m	ε_2	ω_2
...
s_{k}^1	s_{k}^2	...	s_{k}^m	ε_k	ω_k

s^i - параметр функции принадлежности



Непрерывный AMK



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

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



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

начальное значения параметра σ

$$\begin{aligned}\mu(t) &= (1 - \rho) \mu(t-1) \\ \sigma(t) &= (1 - \rho) \sigma(t-1)\end{aligned}$$

увеличение количества фермента

$$\begin{aligned}\mu(t) &= \mu(t) + \rho \theta(t) \\ \sigma(t) &= \sigma(t) + \rho |\theta(t) - \mu(t)|\end{aligned}$$

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 $[0, 1]$

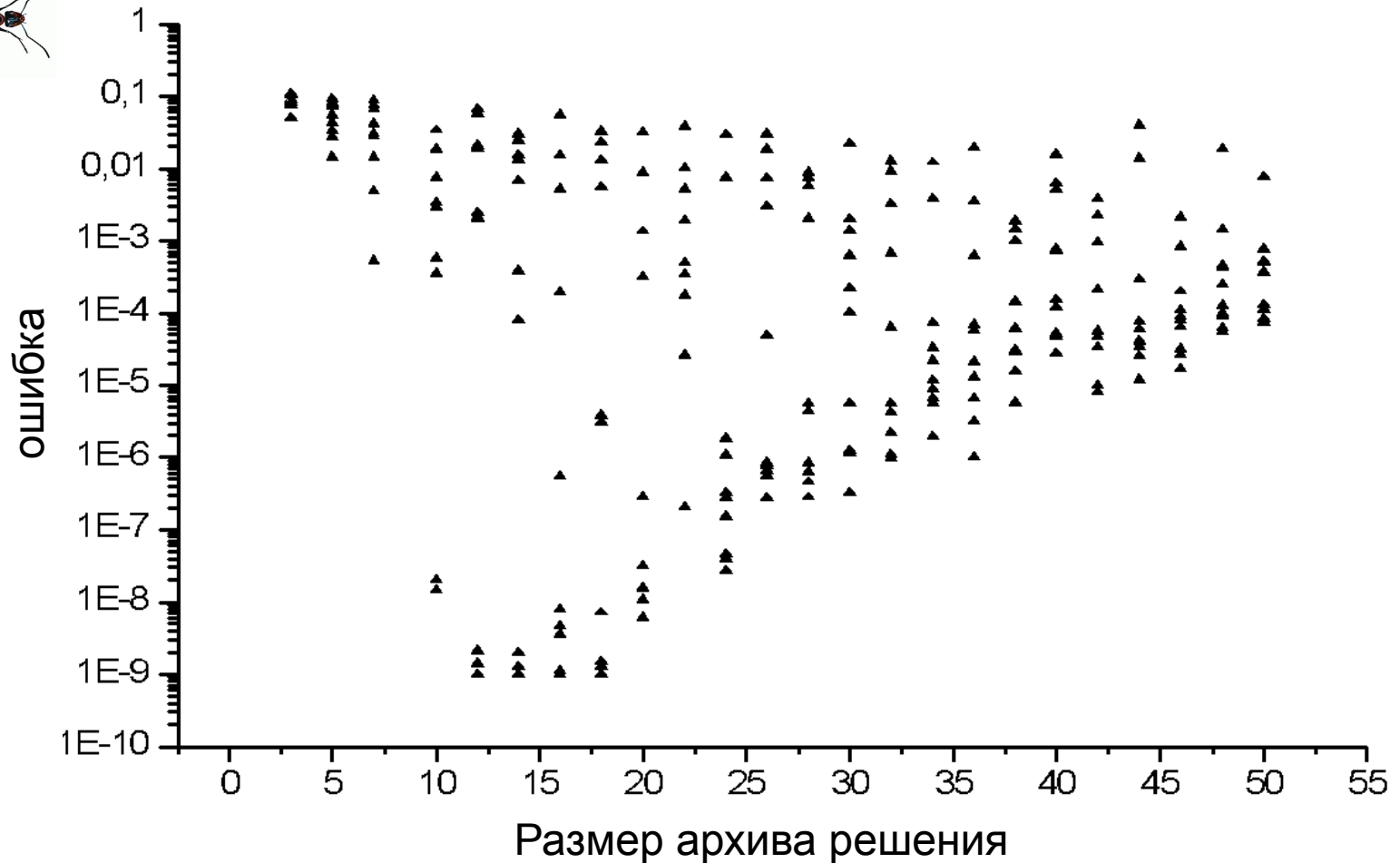
Параметры АМК по умолчанию

$$F(x_1, x_2) = x_1 \sin(x_2)$$

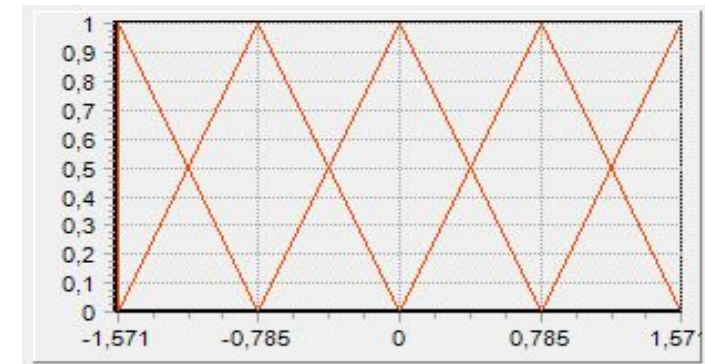
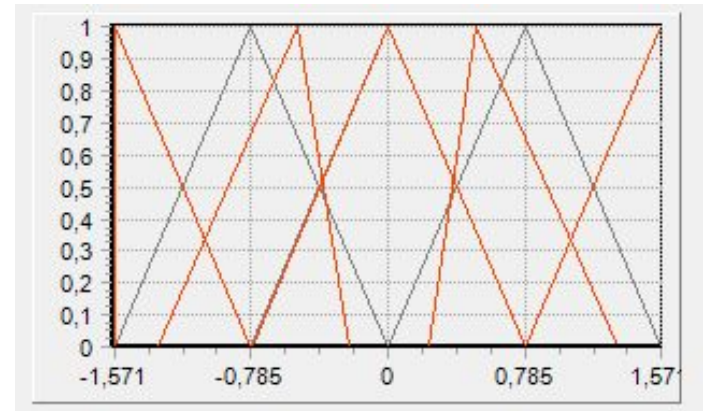
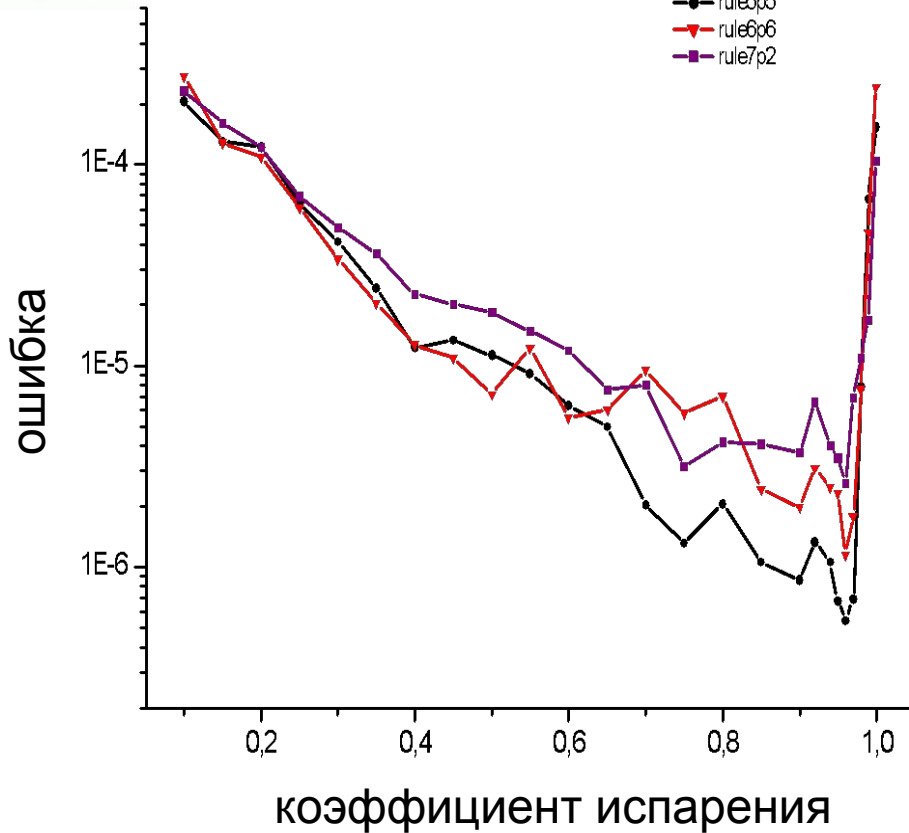


Непрерывный	Количество итераций	50
	Количество муравьев	10
	Размер архива решений k	10
	Коэффициент сходимости алгоритма q	0,1
	Коэффициент скорости испарения ξ	1
Дискретный	Коэффициент испарения ρ	0,4
	Количество муравьев	20
	α	1
	Количество фермента - Q	0,1
	Начальное количество феромона	10
Прямой	Коэффициент испарения ρ	0,95
	Шаг дискретизации	15

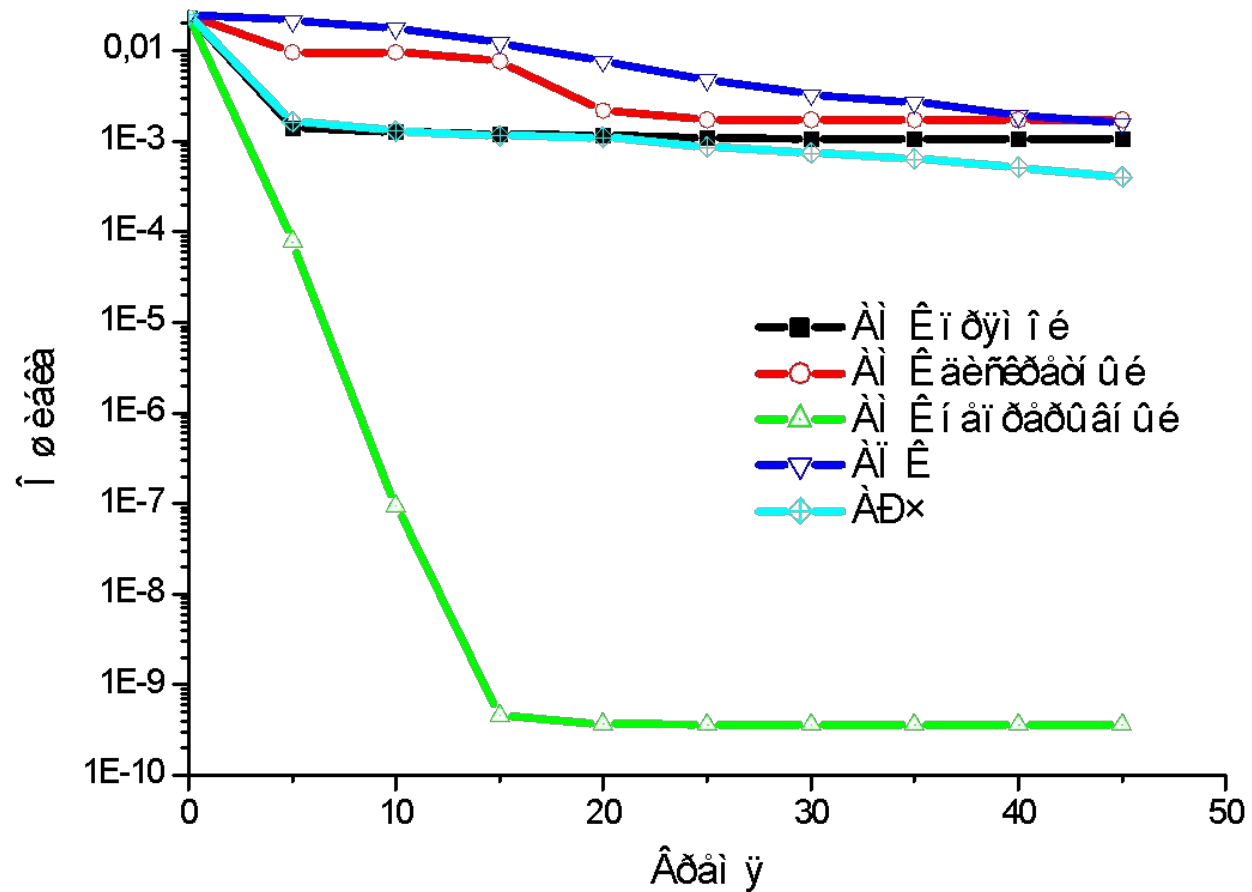
Исследование размера архива решений



Исследование коэффициента испарения



Сравнительная динамика изменения ошибки



СПАСИБО

hodashn@rambler.ru

