
Генетический алгоритм и основанные на производной методы нечеткой идентификации



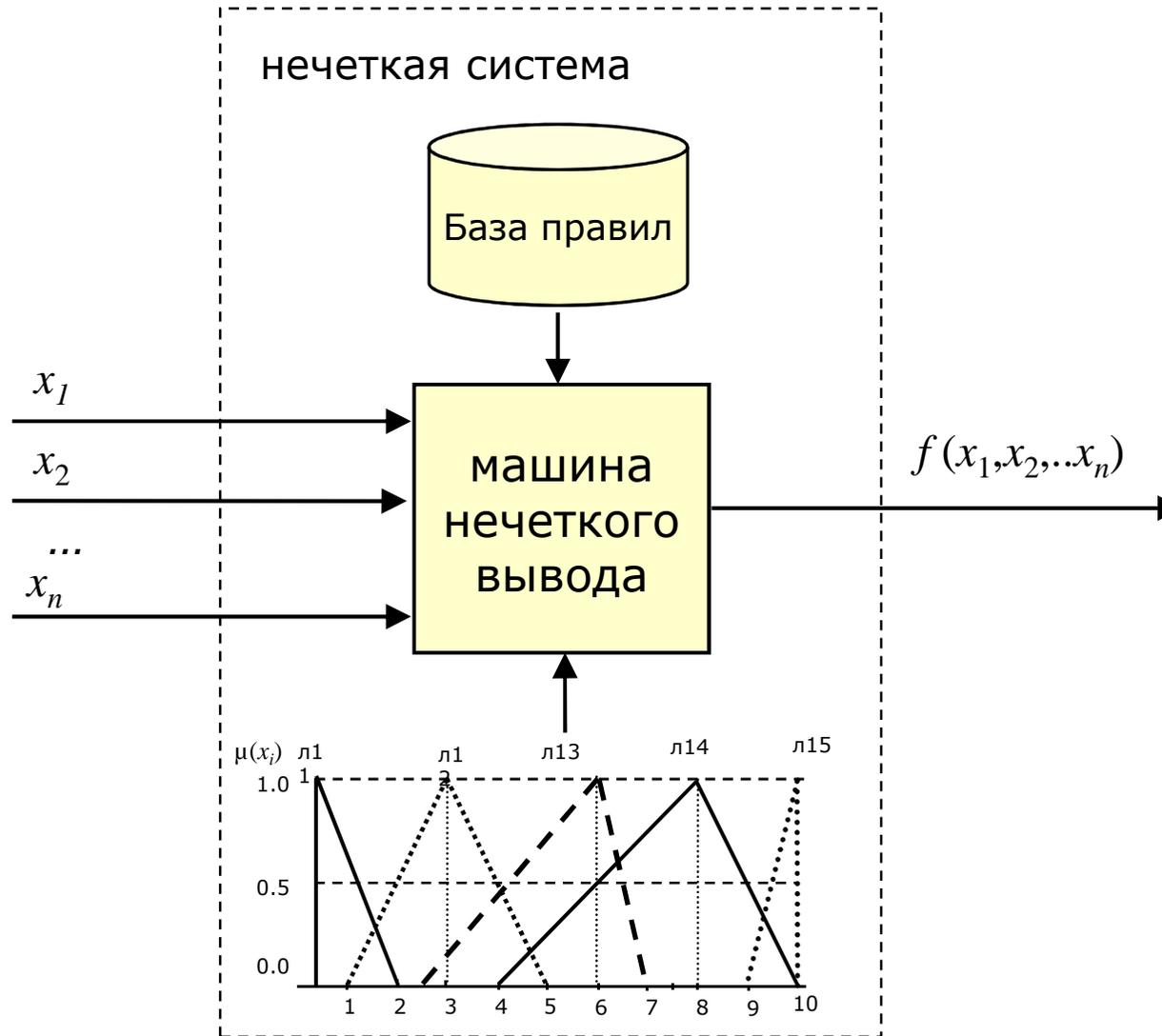
Лавыгина Анна Владимировна
ст.преподаватель каф. АОИ ТУСУР

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

Нечеткое моделирование

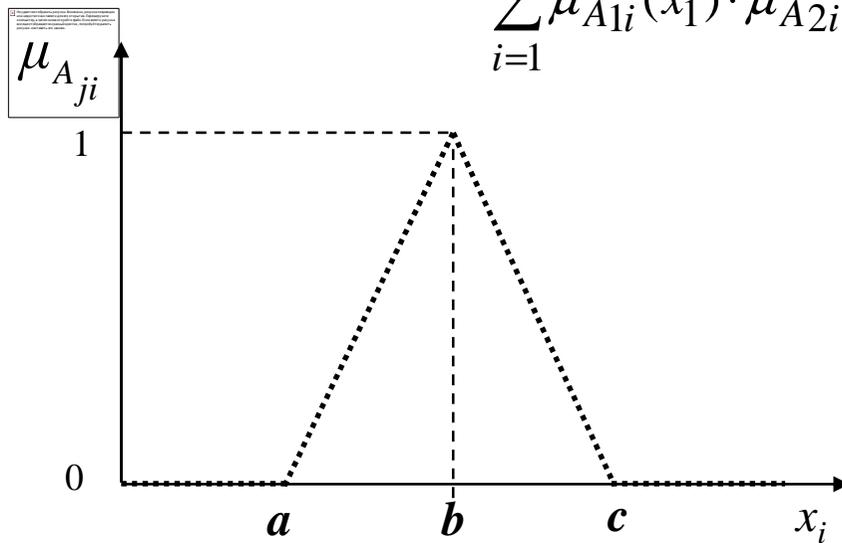


Нечеткая модель

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

Вывод

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



Параметры функции принадлежности

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

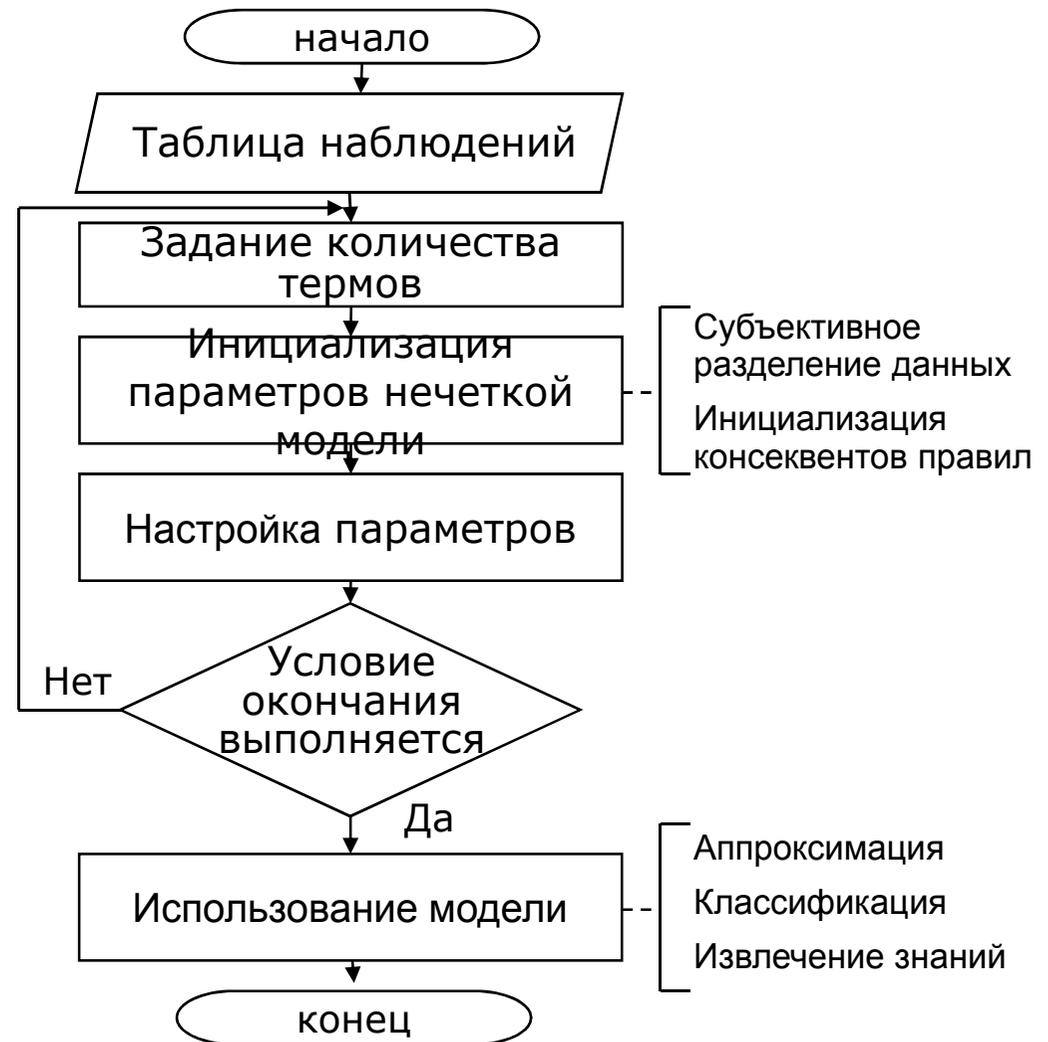
Процесс идентификации

Таблица наблюдений

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 –
среднеквадратичная ошибка
вывода

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



Идентификация нечетких систем

- Структурная идентификация
 - кластерный анализ;
 - метод индукции;
 - *субъективное разделение данных.*
- Настройка параметров
 - Метаэвристические методы
 - *генетический алгоритм;*
 - алгоритм муравьиной колонии;
 - метод роящихся частиц;
 - алгоритм имитации отжига;
 - Методы, основанные на производных
 - *метод градиентного спуска;*
 - *фильтр Калмана;*
 - *метод наименьших квадратов;*
 - алгоритм Левенберга-Марквардта.

Кластеризация данных

Матрица наблюдений:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{M1} & x_{M2} & \dots & x_{Mn} \end{bmatrix},$$

x_{ij} – значение j -ого признака у i -ого объекта;
 M – количество объектов;
 n – количество признаков.

Матрица разбиения:

- ◆ Четкая кластеризация:

$$\mathbf{F}_{\text{чк}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

- ◆ Нечеткая кластеризация:

$$\mathbf{F}_{\text{нчк}} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1c} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2c} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{M1} & \mu_{M2} & \dots & \mu_{Mc} \end{bmatrix},$$

μ_{ij} – степень принадлежности i -ого объекта j -ому кластеру



Алгоритм нечетких c -средних

Шаг 1. Установить начальные значения.

Шаг 2. Сгенерировать матрицу нечеткого разбиения.

Шаг 3. Рассчитать центры кластеров \mathbf{v}_{ij} .

Шаг 4. Рассчитать расстояние d_{ki} между k -ым объектом из матрицы наблюдений и i -ым центром кластеров.

Шаг 5. Пересчитать значения элементов матрицы нечеткого разбиения в зависимости от значения d_{ki} .

Шаг 6. Проверить условие $\|\mathbf{F} - \mathbf{F}^*\|^2 < \varepsilon$, где \mathbf{F}^* - матрица нечеткого разбиения на предыдущей итерации алгоритма. Если ДА, то выход из алгоритма, иначе переход на **Шаг 3**.

Расчетные формулы

Центры кластеров:

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^M (\mu_{ki})^m * X_k}{\sum_{k=1}^M (\mu_{ki})^m}$$

Расстояние между объектами и центрами кластеров: $\|X - V\|_B^2 = (X - V) * B * (X - V)^T$

- ♦ Евклидова норма

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

- ♦ Диагональная норма

$$B = \begin{bmatrix} \omega_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \omega_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \omega_n \end{bmatrix}$$

- ♦ норма Махаланобиса

$$B = R^{-1},$$

где R - ковариационная матрица;
 ω_i - веса координат

Перерасчет матрицы нечеткого разбиения:

- ♦ Если $D_{ki} > 0$, то $\mu_{ki} = \frac{1}{\left(D_{ki}^2 - \frac{1}{\sum_{j=1}^c D_{ij}^2} \right)^{\frac{1}{m-1}}}$
- ♦ Если $D_{ki} = 0$, то $\mu_{ki} = \begin{cases} 1, & j \neq i \\ 0, & j = i \end{cases} j = \overline{1, c}$



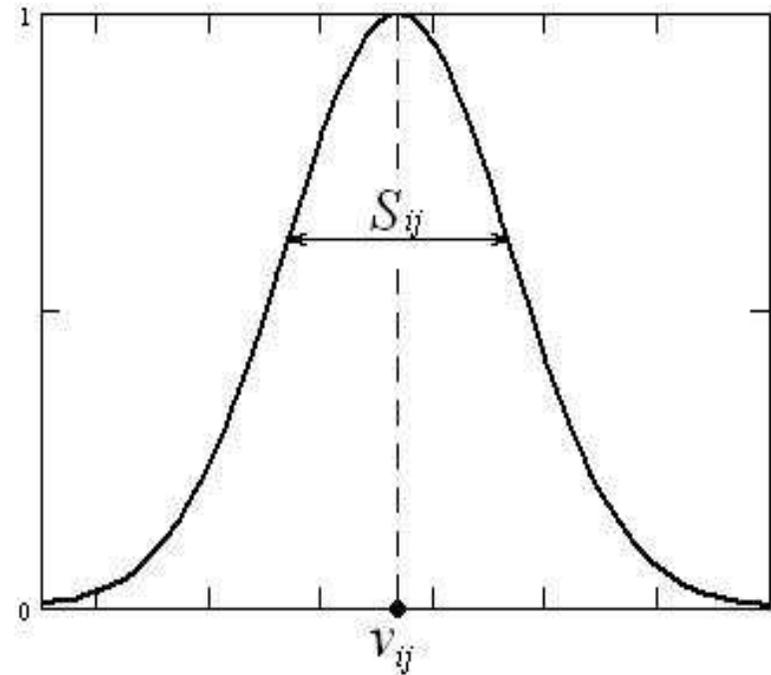
Построение функции принадлежности

- ◆ Коэффициент концентрации функции принадлежности:

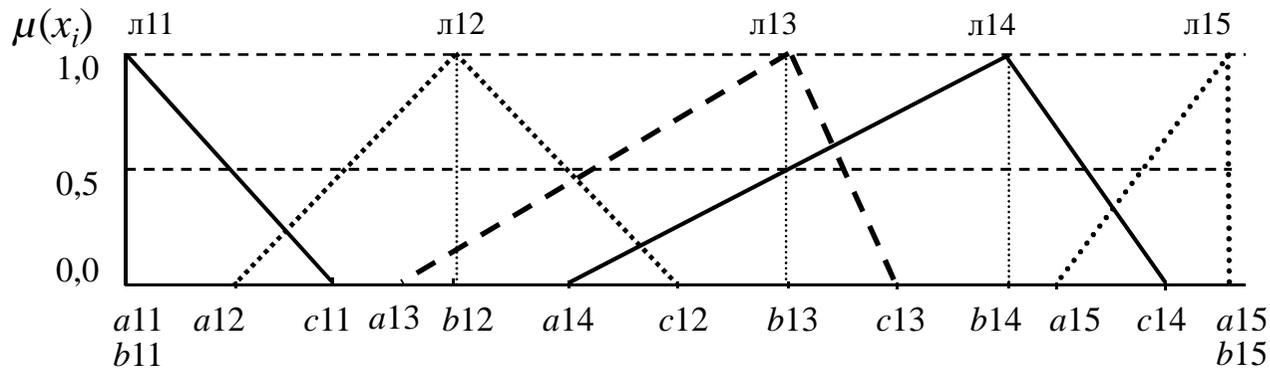
$$S^2_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^M (\mu_{ki})^m * (x_{kj} - v_{ij})^2}{\sum_{k=1}^M (\mu_{ki})^m}$$

- ◆ Значения параметров функции принадлежности для каждого кластера:

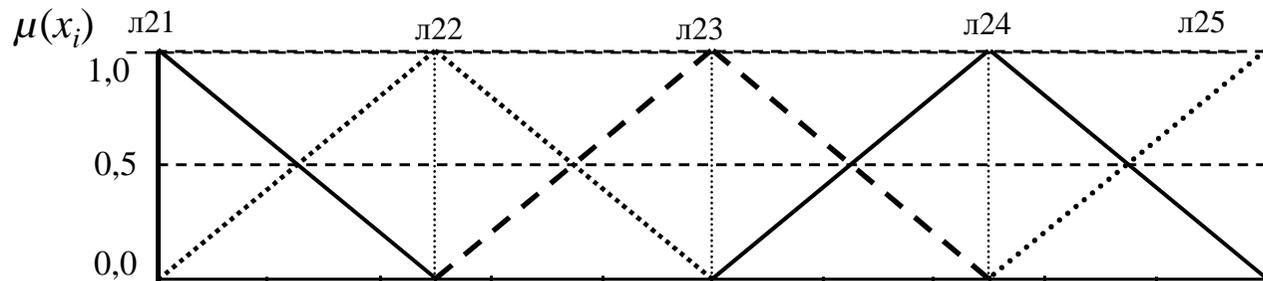
$$\mu_{Aij} = \exp\left(-\frac{(x_{0j} - v_{ij})^2}{2S_{ij}^2}\right)$$



Субъективное разделение данных



Случайное
разделение



Равномерное
разделение

Требования: 1 $a_i \leq b_i \leq c_i$,

2 $b_{i-1} < b_i < b_{i+1}$,

3 $c_{i-1} > a_i$

4 Функции принадлежности должны покрывать всю область определения переменной

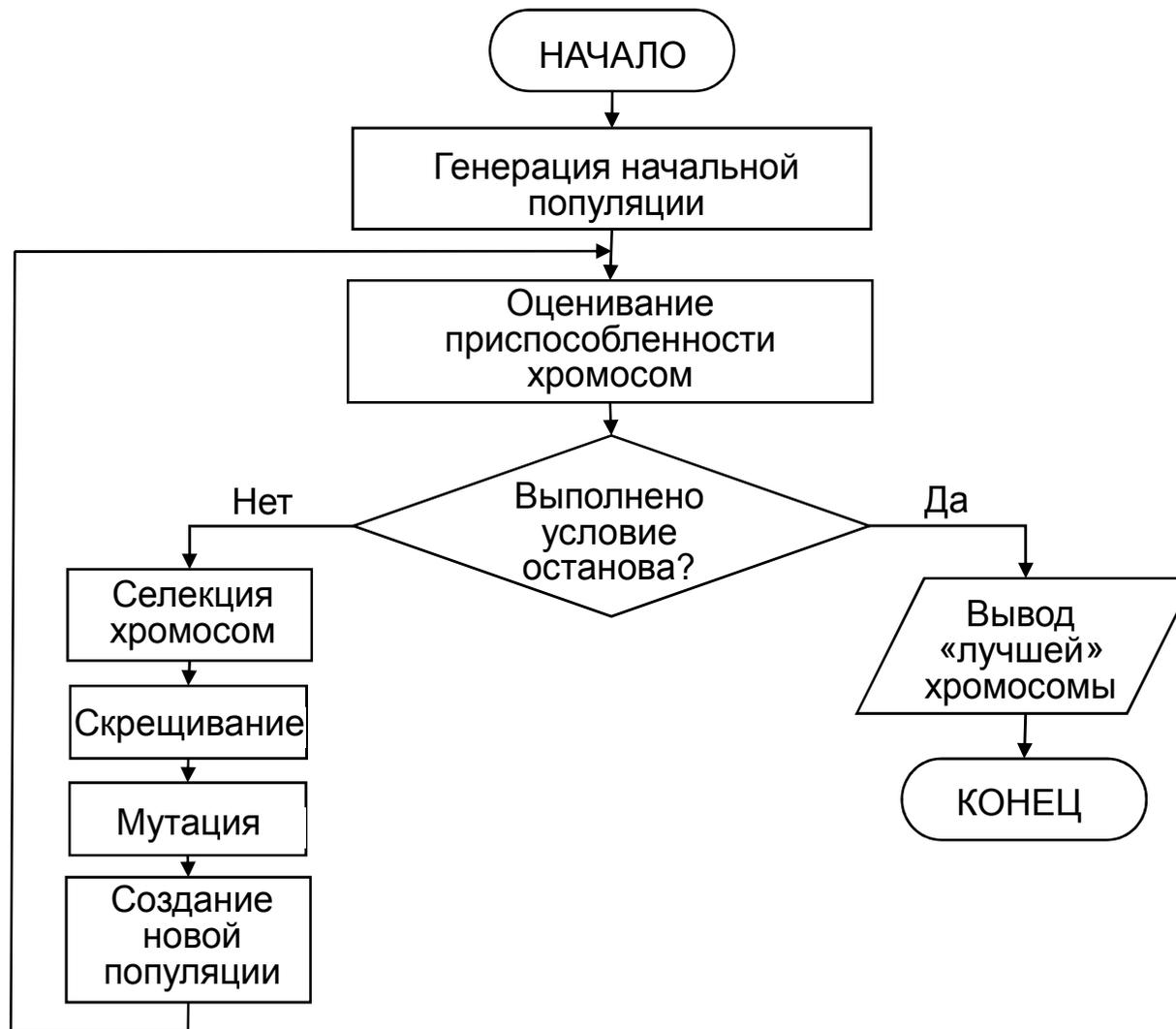


Идентификация параметров

- **Метаэвристические методы**
 - *генетический алгоритм;*
 - алгоритм муравьиной колонии;
 - метод роящихся частиц;
 - алгоритм имитации отжига;
 - метод локального поиска;

- **Методы, основанные на производных**
 - *метод градиентного спуска;*
 - *фильтр Калмана;*
 - *метод наименьших квадратов;*
 - алгоритм Левенберга-Марквардта.

Генетический алгоритм



Хромосома генетического алгоритма

Ошибка	a'_{11}	b'_{11}	c'_{11}	a'_{12}	b'_{12}	c'_{12}	...	a'_{nt}	b'_{nt}	c'_{nt}
--------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----	-----------	-----------	-----------

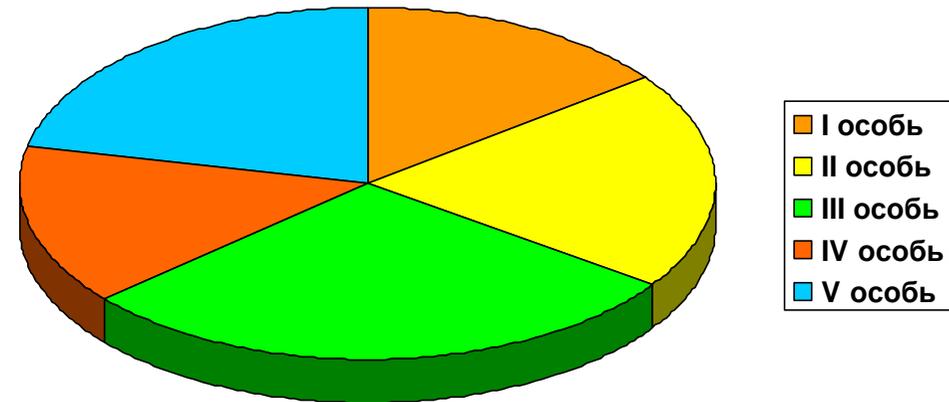
$a'_{ij} \in [0,1]$ — нормированные значения параметров j -го терма i -й переменной, t — количество термов переменной.

Условия включения хромосомы в популяцию:

- 1 $a'_i \leq b'_i \leq c'_i$,
- 2 $b'_{i-1} < b'_i < b'_{i+1}$,
- 3 $c'_{i-1} > a'_i$
- 4 Функции принадлежности должны покрывать всю область определения переменной

Типы оператора селекции

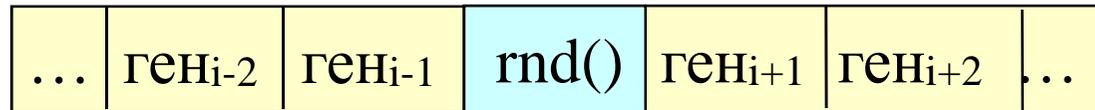
- «Случайный отбор»;
- «Турнирный отбор»;
- «Рулеточный отбор»;
- «Элитаризм»



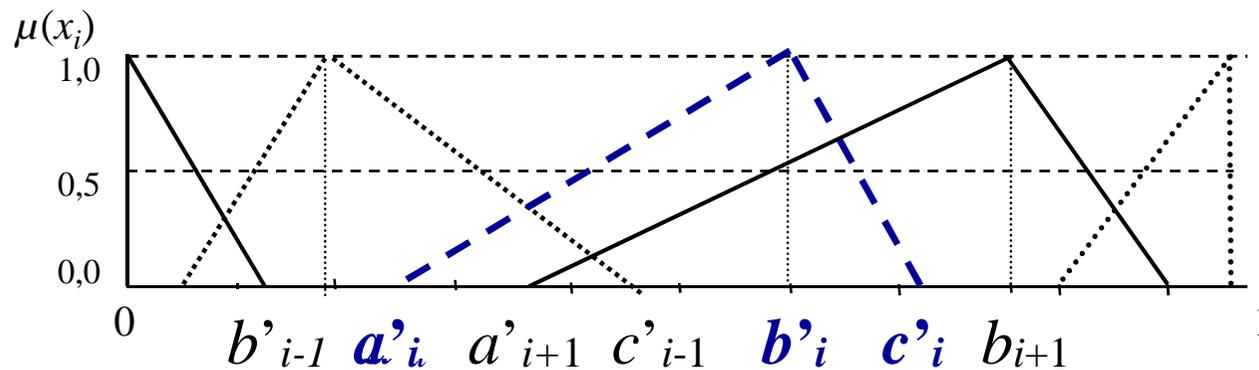
$$P_i = \frac{1/\text{Ошибка}_i}{\sum_k (1/\text{Ошибка}_k)}$$

Оператор мутации

$i = \text{random}(\text{размер_хромосомы}) + 1$



- 1) $a'_i \in [0, b'_i]$; 2) $b'_i \in [b'_{i-1}, b'_{i+1}]$; 3) $c'_i \in [b'_i, 1]$;
 $a'_i < c'_{i-1}$ $b'_i < c'_i$; $c'_i > a'_{i+1}$
 $b'_i > c'_i$



Формирование текущей популяции

Полная замена

старая популяция

Ошибка ¹						
Ошибка ²						
Ошибка ³						
Ошибка ⁴						
Ошибка ⁵						
Ошибка ⁶						

новая популяция

ПОТОМКИ

Ошибка ¹						
Ошибка ²						
Ошибка ³						
Ошибка ⁴						
Ошибка ⁵						
Ошибка ⁶						

Формирование текущей популяции

Добавление лучшей

старая популяция

новая популяция

Ошибка ¹						
Ошибка ²						
Ошибка ³						
Ошибка ⁴						
Ошибка ⁵						
Ошибка ⁶						

ПОТОМКИ

Ошибка ¹						
Ошибка ²						
Ошибка ³						
Ошибка ⁴						
Ошибка ⁵						
Ошибка ⁶						

Формирование текущей популяции

Частичная замена

старая популяция

Ошибка ¹						
Ошибка ²						
Ошибка ³						
Ошибка ⁴						
Ошибка ⁵						
Ошибка ⁶						

новая популяция

Ошибка ¹						
Ошибка ²						
Ошибка ³						
Ошибка ⁴						
Ошибка ⁵						
Ошибка ⁶						
Ошибка ⁷						
Ошибка ⁸						
Ошибка ⁹						
Ошибка ¹⁰						
Ошибка ¹¹						
Ошибка ¹²						

ПОТОМКИ

Ошибка ¹						
Ошибка ²						
Ошибка ³						
Ошибка ⁴						
Ошибка ⁵						
Ошибка ⁶						

Формирование текущей популяции

30% лучших – 70% лучших

старая популяция

Ошибка ¹						
Ошибка ²						
Ошибка ³						
Ошибка ⁴						
Ошибка ⁵						
Ошибка ⁶						

новая популяция

ПОТОМКИ

Ошибка ¹						
Ошибка ²						
Ошибка ³						
Ошибка ⁴						
Ошибка ⁵						
Ошибка ⁶						

Формирование текущей популяции

30% лучших – 70% худших

старая популяция

Ошибка ¹						
Ошибка ²						
Ошибка ³						
Ошибка ⁴						
Ошибка ⁵						
Ошибка ⁶						

новая популяция

ПОТОМКИ

Ошибка ¹						
Ошибка ²						
Ошибка ³						
Ошибка ⁴						
Ошибка ⁵						
Ошибка ⁶						

Фильтр Калмана

Уравнения состояния и процесса

$$\mathbf{x}_{n+1} = \mathbf{x}_n + \omega_n;$$

$$\mathbf{d}_n = h_n(\mathbf{x}_n) + v_n,$$

\mathbf{x}_n — вектор состояния системы в момент времени n , определенный текущими параметрами функций принадлежности,

$$\mathbf{x}_n = [a_{11} \ b_{11} \ c_{11} \ a_{12} \ b_{12} \ c_{12} \ \dots \ a_{nt} \ b_{nt} \ c_{nt}]$$

\mathbf{d} — целевой вектор выхода нечеткой системы, $\mathbf{d} = [F(\mathbf{x}_1) \ F(\mathbf{x}_2) \dots F(\mathbf{x}_N)]$

$h(\cdot)$ — нелинейная функция состояния системы, описывающая выход нечеткой модели с текущими параметрами $[f(\mathbf{x}_1) \ f(\mathbf{x}_2) \dots f(\mathbf{x}_N)]$,

ω_n — шум процесса,

v_n — шум измерения.



Матричное представление

$$\hat{\mathbf{x}}_n = \hat{\mathbf{x}}_{n-1} + \mathbf{K} [\hat{\mathbf{x}}_n - h(\hat{\mathbf{x}}_{n-1})],$$

$$\mathbf{K}_n = \mathbf{P}_n \mathbf{H}_n (\mathbf{R}_n + \mathbf{H}_n^T \mathbf{P}_n \mathbf{H}_n)^{-1};$$

$$\mathbf{P}_{n+1} = \mathbf{F}_n (\mathbf{P}_n - \mathbf{K}_n \mathbf{H}_n^T \mathbf{P}_n) \mathbf{F}_n^T + \mathbf{Q}_n;$$

\mathbf{K}_n — усиление фильтра Калмана,

\mathbf{P}_n — ковариационная матрица погрешности оценивания состояния системы,

\mathbf{R}_n — ковариационная матрица шума измерения, $\mathbf{R} = p * \mathbf{I}$,
где \mathbf{I} — единичная матрица,

\mathbf{Q}_n — ковариационная матрица шума процесса, $\mathbf{Q} = q * \mathbf{I}$,

\mathbf{H}_n^T — матрица частных производных нечёткого выхода относительно параметров функций принадлежности.

Метод градиентного спуска

- Целевая функция $E = \frac{1}{2}(f(\mathbf{x}) - F(\mathbf{x}))^2$

- Значение параметров на $t+1$ итерации:

$$a(t+1) = a(t) - \alpha \cdot \frac{\partial E}{\partial a} \quad b(t+1) = b(t) - \beta \cdot \frac{\partial E}{\partial b} \quad c(t+1) = c(t) - \lambda \cdot \frac{\partial E}{\partial c}$$
$$r_i(t+1) = r_i(t) - \gamma \frac{\partial E}{\partial r_i(t)}$$

$$a_{1i}(t+1) = a_{1i}(t) + \frac{\alpha \cdot (F(x_1, x_2) - f(x_1, x_2)) \cdot \sum_{j=1}^R (r_j - f(x_1, x_2)) \cdot \mu_{2j}(x_2)}{\sum_{j=0}^R \mu_{1j}(x_1) \cdot \mu_{2j}(x_2)} \cdot \frac{(x_1 - b_{1i})}{(b_{1i} - a_{1i})^2}$$

Метод наименьших квадратов

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

$$y = \sum_{k=1}^N (f(\mathbf{x}_k) - F(\mathbf{x}_k))^2 \rightarrow \min$$

$\mathbf{X} = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_R]^T$, $\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1} \times \mathbf{B}$ если \mathbf{A} — не вырожденная матрица

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^N F(\mathbf{x}_k) \frac{\prod_{j=1}^n \mu_{A_{0j}}(x_{jk})}{\sum_{i=1}^R \prod_{j=1}^n \mu_{A_{ij}}(x_{jk})} \\ \dots \\ \sum_{k=1}^N F(\mathbf{x}_k) \frac{\prod_{j=1}^n \mu_{A_{Rj}}(x_{jk})}{\sum_{i=1}^R \prod_{j=1}^n \mu_{A_{ij}}(x_{jk})} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = [A_{wi}] = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^N \left[\frac{\prod_{j=1}^n \mu_{A_{1j}}(x_{jk}) \cdot \prod_{j=1}^n \mu_{A_{2j}}(x_{jk}) \cdot \prod_{m=1}^N \left(\sum_{l=1}^R \prod_{j=1}^n \mu_{A_{lj}}(x_{jk}) \right)^2}{m \neq k} \right]}{\prod_{k=1}^N \left(\sum_{l=1}^R \prod_{j=1}^n \mu_{A_{lj}}(x_{jk}) \right)^2} \end{bmatrix}$$

Гибридные методы идентификации

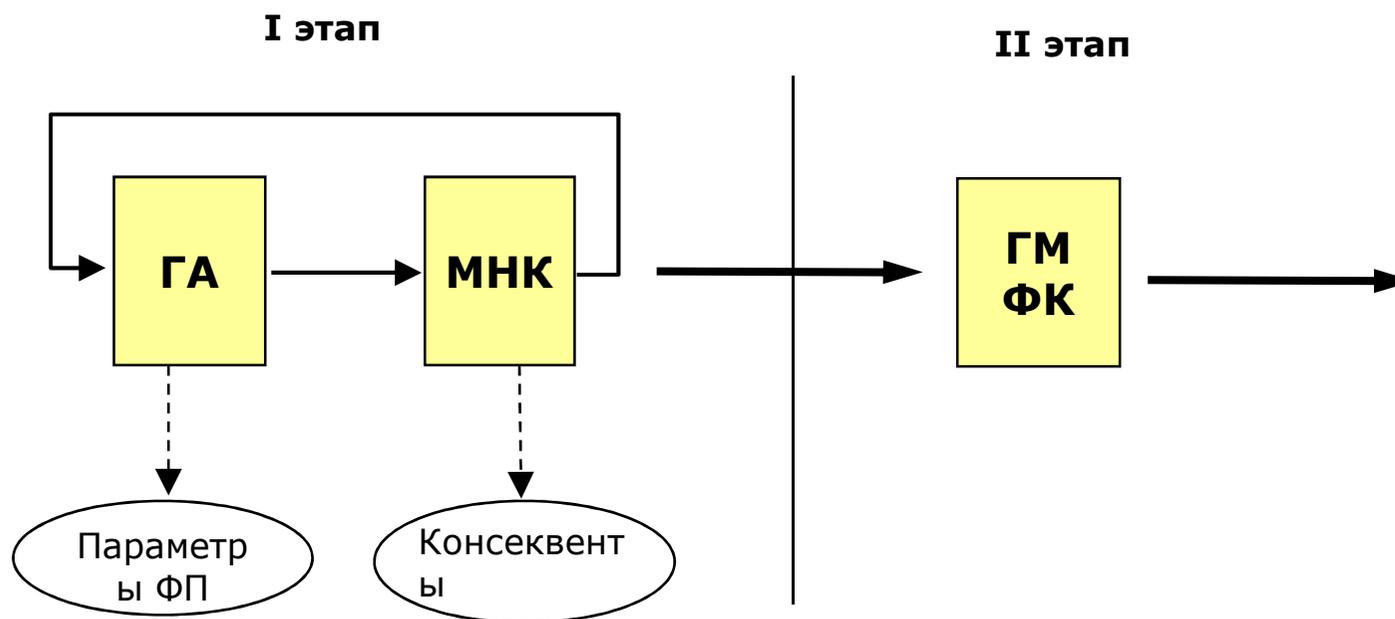
Проблема:

- методы, основанные на производных – проблема локального экстремума
- метаэвристические методы – медленная сходимость, грубая настройка

Решение:

использование гибридных алгоритмов на базе метаэвристических и основанных на производных методов

Гибридный алгоритм (первый способ гибридизации)



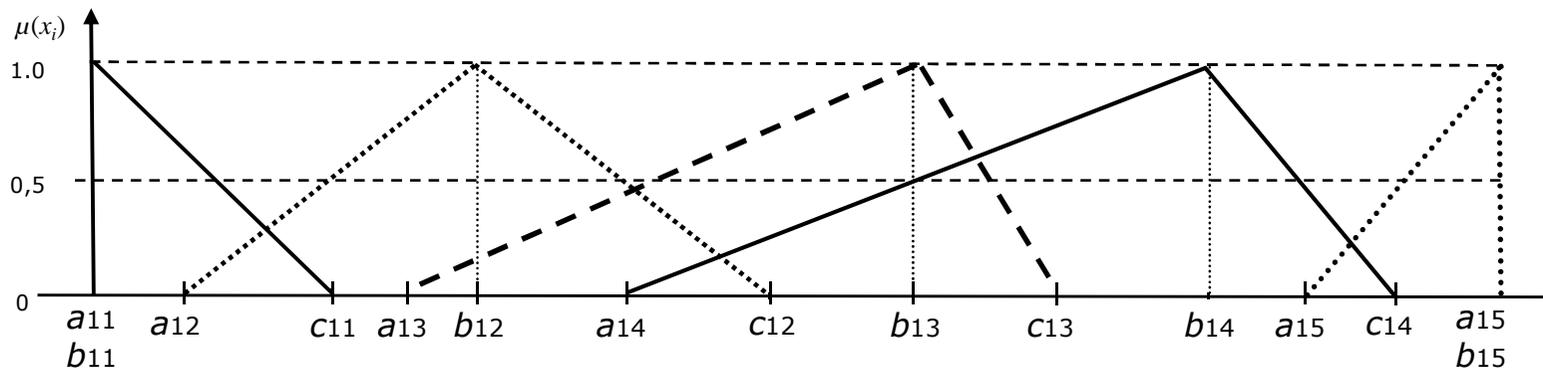
ГА – генетический алгоритм
МНК – метод наименьших квадратов
ГМ – градиентный метод
ФК – фильтр Калмана
ФП – функция принадлежности

Гибридный алгоритм (второй способ гибридации)

Ошибка ¹	$a^{1_{11}}$	$b^{1_{11}}$	$c^{1_{11}}$	$a^{1_{12}}$	$b^{1_{12}}$	$c^{1_{12}}$	...	$a^{1_{nt}}$	$b^{1_{nt}}$	$c^{1_{nt}}$
Ошибка ²	$a^{2_{11}}$	$b^{2_{11}}$	$c^{2_{11}}$	$a^{2_{12}}$	$b^{2_{12}}$	$c^{2_{12}}$	...	$a^{2_{nt}}$	$b^{2_{nt}}$	$c^{2_{nt}}$
Ошибка ³	$a^{3_{11}}$	$b^{3_{11}}$	$c^{3_{11}}$	$a^{3_{12}}$	$b^{3_{12}}$	$c^{3_{12}}$	...	$a^{3_{nt}}$	$b^{3_{nt}}$	$c^{3_{nt}}$
Ошибка ⁴	$a^{4_{11}}$	$b^{4_{11}}$	$c^{4_{11}}$	$a^{4_{12}}$	$b^{4_{12}}$	$c^{4_{12}}$	...	$a^{4_{nt}}$	$b^{4_{nt}}$	$c^{4_{nt}}$
Ошибка ⁵	$a^{5_{11}}$	$b^{5_{11}}$	$c^{5_{11}}$	$a^{5_{12}}$	$b^{5_{12}}$	$c^{5_{12}}$	...	$a^{5_{nt}}$	$b^{5_{nt}}$	$c^{5_{nt}}$
Ошибка ⁶	$a^{6_{11}}$	$b^{6_{11}}$	$c^{6_{11}}$	$a^{6_{12}}$	$b^{6_{12}}$	$c^{6_{12}}$	...	$a^{6_{nt}}$	$b^{6_{nt}}$	$c^{6_{nt}}$
Ошибка ⁷	$a^{7_{11}}$	$b^{7_{11}}$	$c^{7_{11}}$	$a^{7_{12}}$	$b^{7_{12}}$	$c^{7_{12}}$	...	$a^{7_{nt}}$	$b^{7_{nt}}$	$c^{7_{nt}}$
Ошибка ⁸	$a^{8_{11}}$	$b^{8_{11}}$	$c^{8_{11}}$	$a^{8_{12}}$	$b^{8_{12}}$	$c^{8_{12}}$	...	$a^{8_{nt}}$	$b^{8_{nt}}$	$c^{8_{nt}}$
Ошибка ⁹	$a^{9_{11}}$	$b^{9_{11}}$	$c^{9_{11}}$	$a^{9_{12}}$	$b^{9_{12}}$	$c^{9_{12}}$	...	$a^{9_{nt}}$	$b^{9_{nt}}$	$c^{9_{nt}}$
...										
Ошибка ^p	$a^{p_{11}}$	$b^{p_{11}}$	$c^{p_{11}}$	$a^{p_{12}}$	$b^{p_{12}}$	$c^{p_{12}}$	...	$a^{p_{nt}}$	$b^{p_{nt}}$	$c^{p_{nt}}$

Мутация
(одноточечная или
многоточечная)

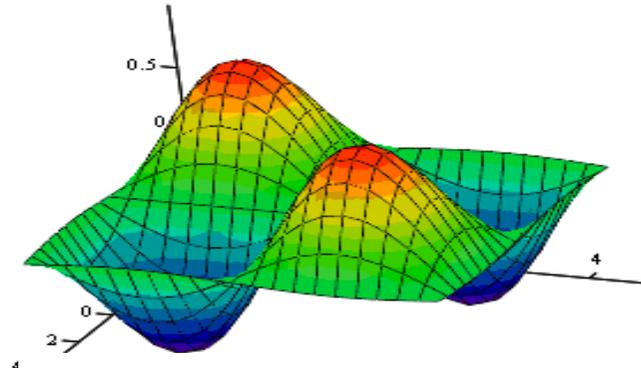
Мутация
градиентным методом
(фильтром Калмана)



Исследование разработанных алгоритмов

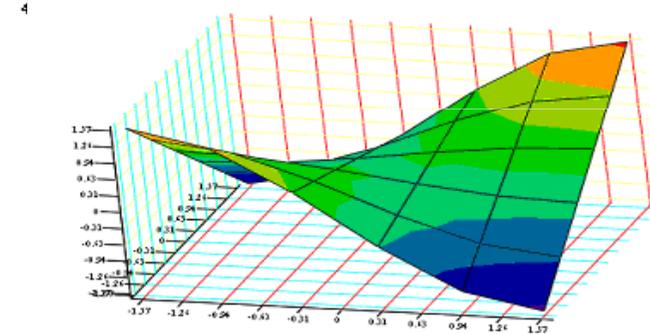
$$f(x_1, x_2) = \sin(2x_1 / \pi) \cdot \sin(2x_2 / \pi), \quad x_1, x_2 \in [-5, 5]$$

число термов	5	7	9
СКО	0,021892	0,012074	0,007572



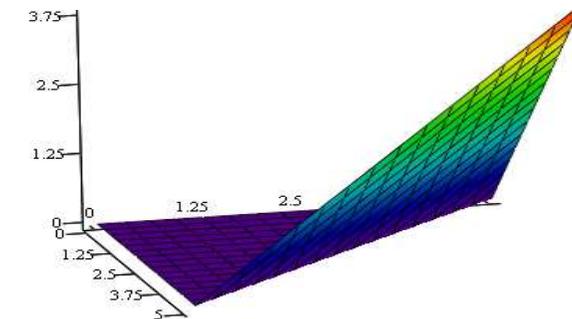
$$f(x_1, x_2) = x_1 \cdot \sin(x_2), \quad x_1, x_2 \in [-\pi/2, \pi/2]$$

число термов	5	7	9
СКО	0,010648	0,005253	0,003188

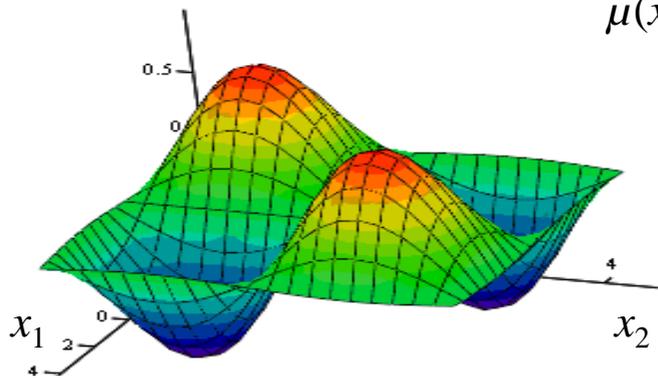


$$f(x_1, x_2) = x_1 + x_2 - 5, \quad x_1, x_2, f(x_1, x_2) \in [0, 5]$$

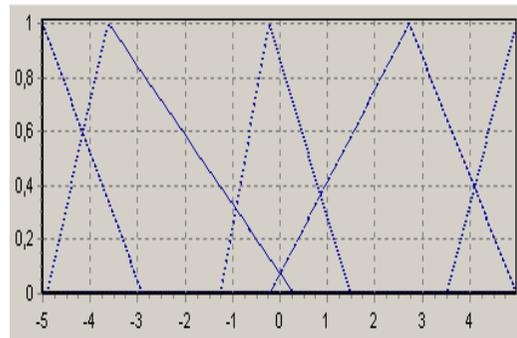
число термов	5	7	9
СКО	0,016690	0,009399	0,006221



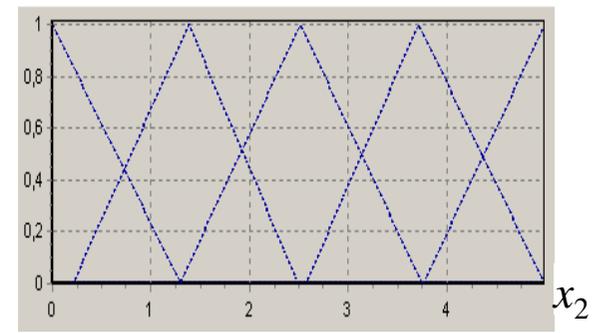
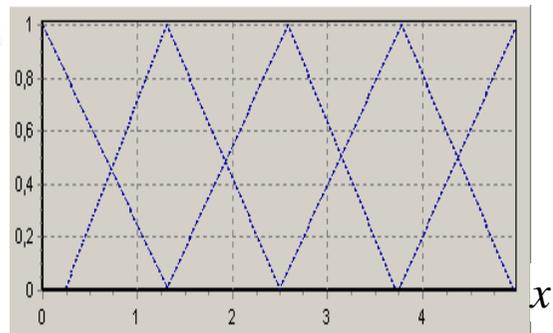
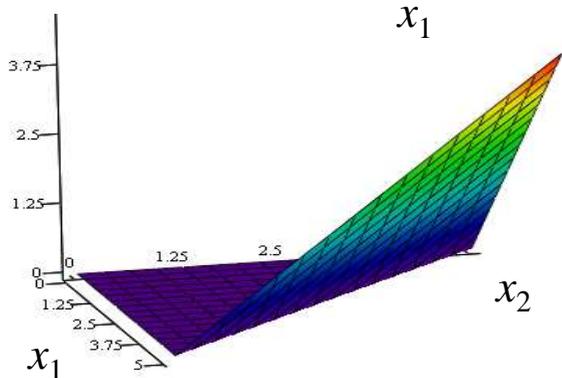
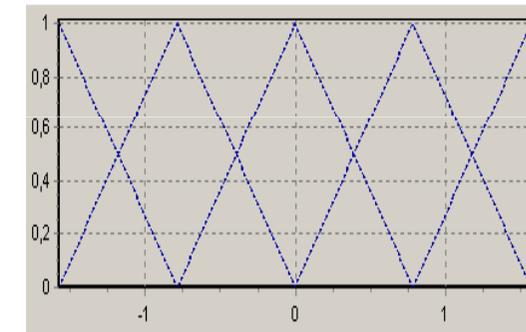
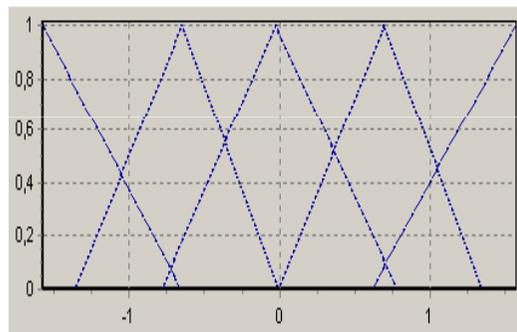
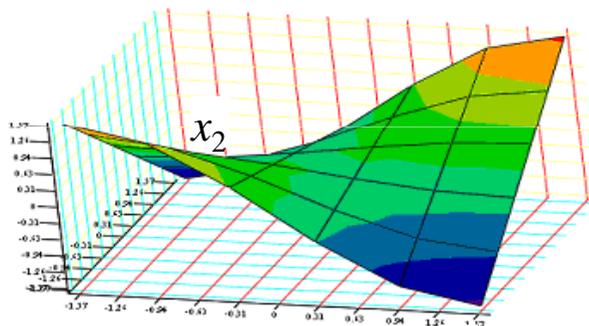
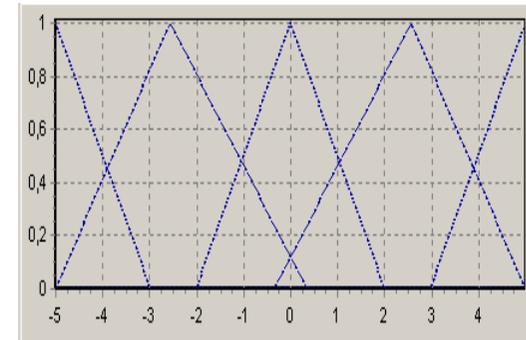
Исследование разработанных алгоритмов



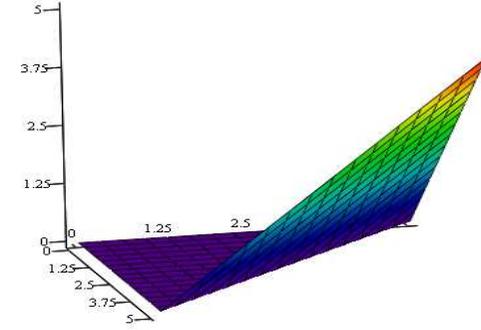
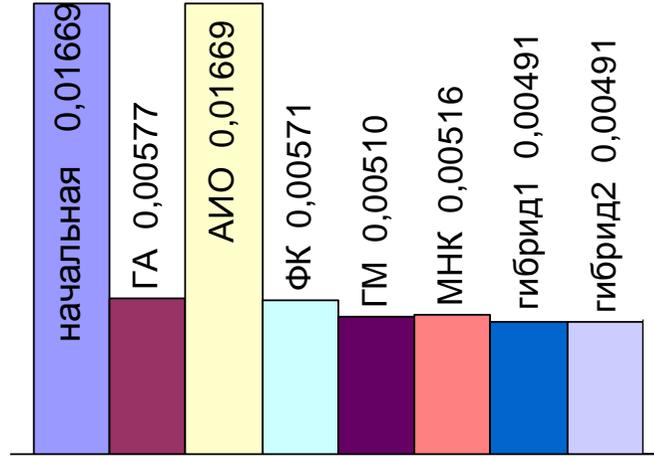
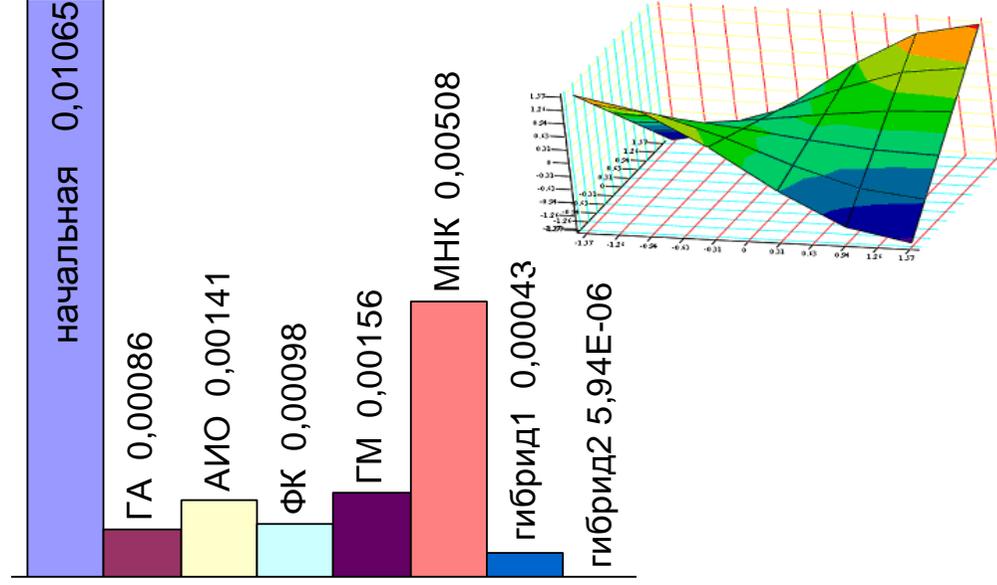
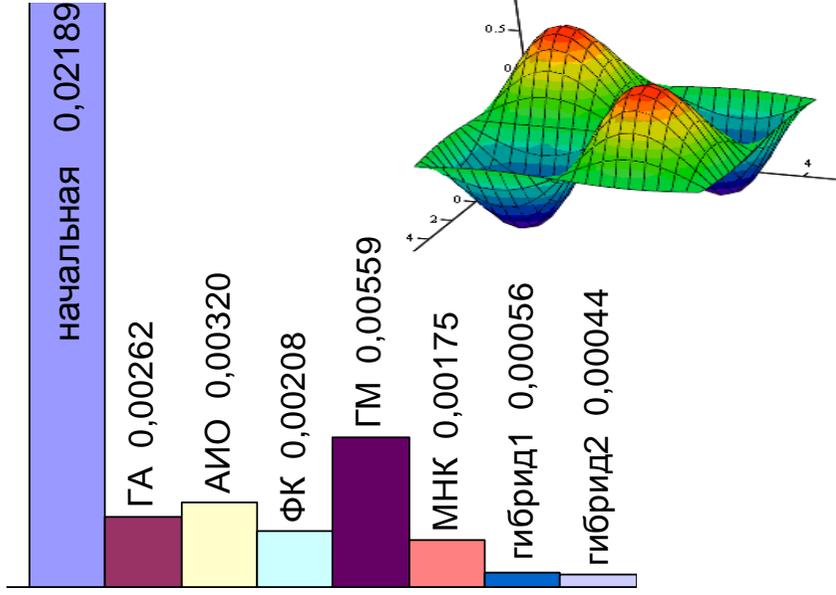
$\mu(x_1)$



$\mu(x_2)$

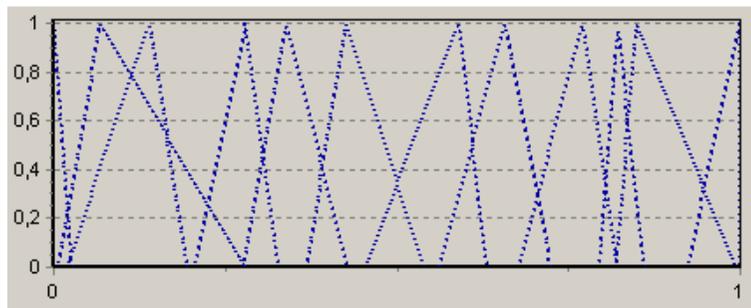
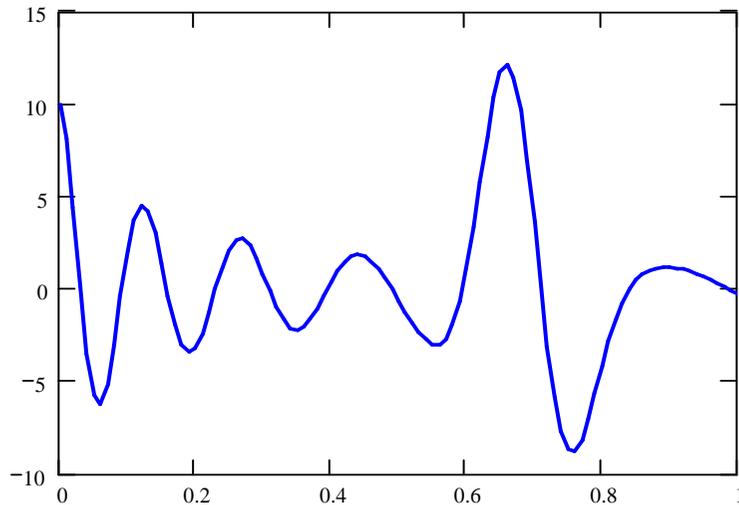


Результаты исследований



Сравнение разработанных алгоритмов с аналогами

$$f(x) = \left[1 + 10 \cdot \exp \left[-100 \cdot (x - 0,7)^2 \right] \right] \cdot \left(\frac{\sin(125 / (x + 1,5))}{x + 0,1} \right), \quad x \in [0, 1]$$



12 правил

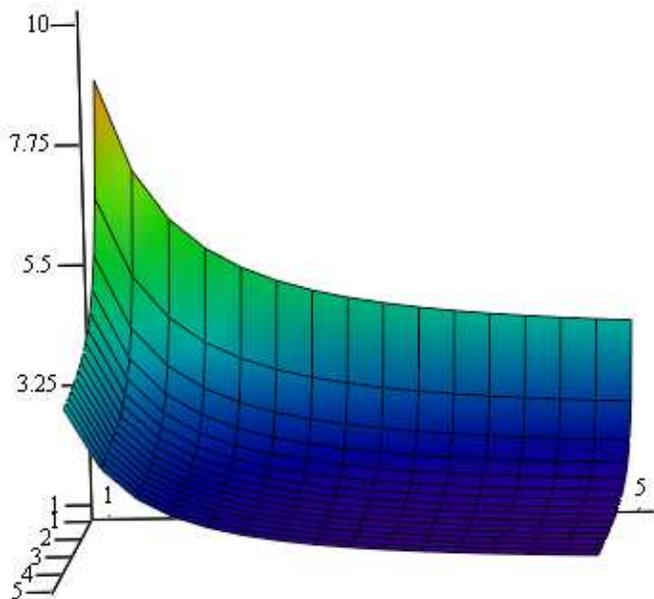
100 строк таблицы наблюдений

алгоритм	среднеквадратичная ошибка
S. Mitaim B. Kosko	1,426
D. Lisin M. A. Gennert	0,247
первый гибридный алгоритм	0,045
второй гибридный алгоритм	0,013

Сравнение разработанных алгоритмов с аналогами

$$f(x_1, x_2) = (1 + x_1^{-2} + x_2^{-1,5})^2,$$

$$x_1, x_2 \in [1, 5]$$

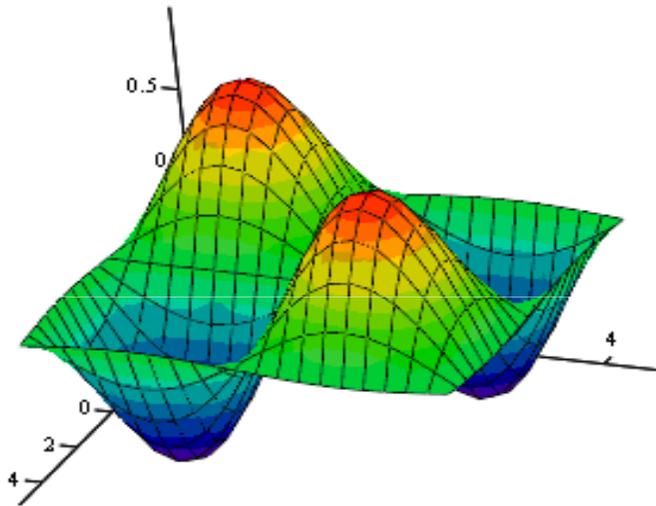


400 строк таблицы наблюдений

алгоритм	число правил	среднеквадратичная ошибка	
Sugeno Yatsukawa	6	0,079	
Nozaki и др	25	0,0085	
Rojas	9	0,146	
	16	0,051	
	25	0,026	
	36	0,017	
Teng	4	0,016	
Lee	3	0,0028	
Wang	3	0,0052	
Tsekouras и др	6	0,0108	
гибридные алгоритмы	9	0,0075	0,0065
	16	0,0027	0,0021
	25	0,0016	0,0007

Сравнение разработанных алгоритмов с аналогами

$$f(x_1, x_2) = \sin(2x_1 / \pi) \cdot \sin(2x_2 / \pi), \quad x_1, x_2 \in [-5,5]$$



алгоритм	среднеквадратичная ошибка
Lee	менее 0,001
первый гибридный алгоритм	0,00055
второй гибридный алгоритм	0,00044

25 правил
441 строка таблицы наблюдений

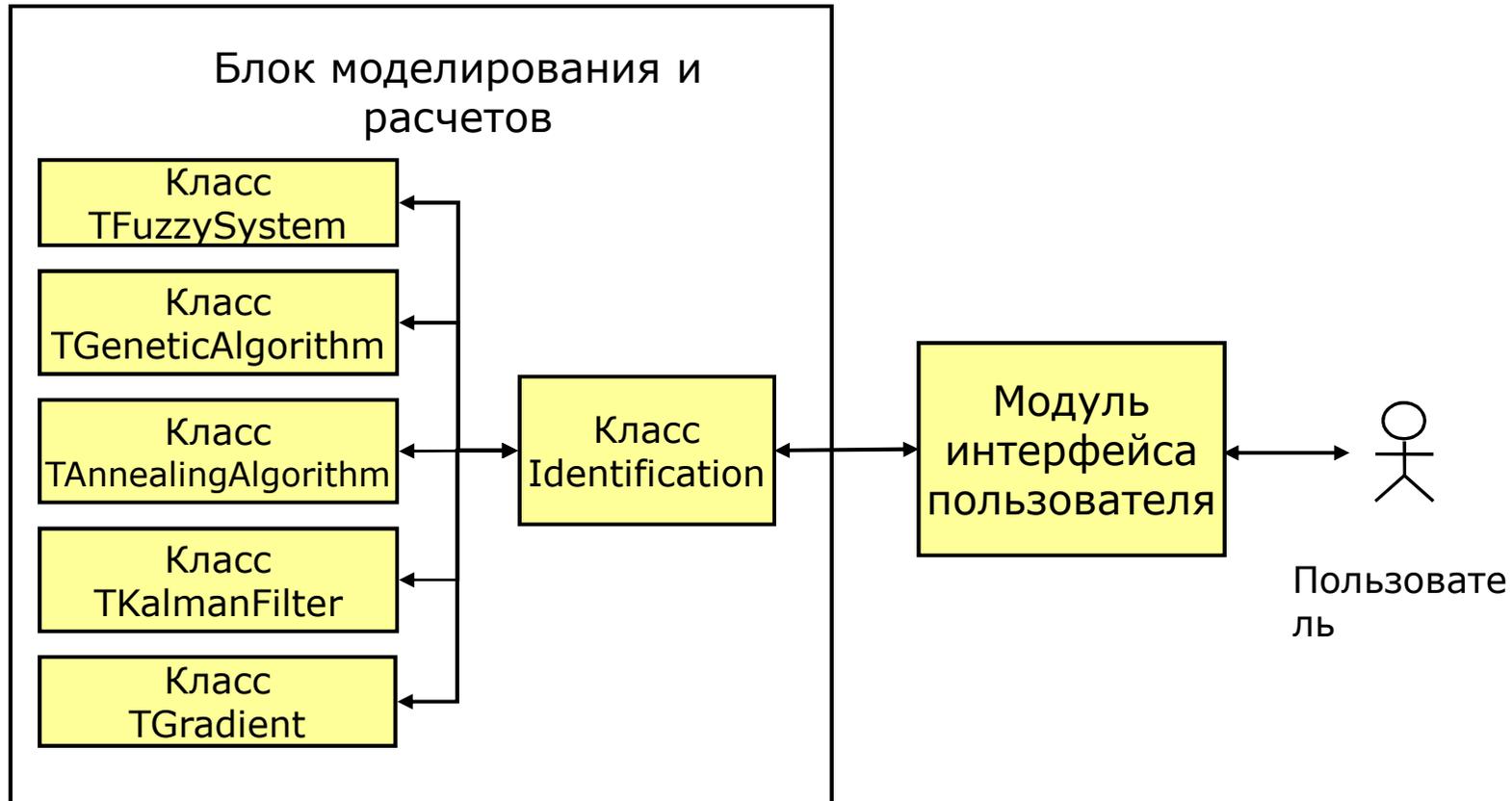
Сравнение разработанных алгоритмов с аналогами

$$f(x_1, x_2, x_3) = 1 + x_1^{0,5} + x_2^{-1} + x_3^{-1,5}, \quad x_1, x_2, x_3 \in [1, 5]$$

216 строк
таблицы
наблюдений

алгоритм	количество правил	среднеквадратичная ошибка
M.S. Aliyari	9	0,00243
первый гибридный алгоритм	27	0,00206
второй гибридный алгоритм	27	0,00081

Функциональная схема программного комплекса



Интерфейс пользователя

Программная система идентификации нечетких моделей

Таблица наблюдений | Нечеткая система | Функции принадлежности

Исходные данные | **Функция принадлежности** | Метод оптимизации | База правил | Результаты

Параметры нечеткой системы
 Количество входов:

Входные переменные
 Переменная №:
 Количество термов:
 Нижняя граница:
 Верхняя граница:

Таблица наблюдений
 Количество строк в таблице наблюдений:

	вход. переменная 1	вход. переменная 2	выход. переменная
1	-5.00000	-5.00000	0.00172
2	-5.00000	-4.00000	-0.02326
3	-5.00000	-3.00000	-0.03913
4	-5.00000	-2.00000	-0.03967
5	-5.00000	-1.00000	-0.02467
6	-5.00000	0.00000	0.00000
7	-5.00000	1.00000	0.02467
8	-5.00000	2.00000	0.03967
9	-5.00000	3.00000	0.03913
10	-5.00000	4.00000	0.02326
11	-5.00000	5.00000	-0.00172
12	-4.00000	-5.00000	-0.02326
13	-4.00000	-4.00000	0.31428
14	-4.00000	-3.00000	0.52869
15	-4.00000	-2.00000	0.53597
16	-4.00000	-1.00000	0.33327
17	-4.00000	0.00000	0.00000
18	-4.00000	1.00000	-0.33327
19	-4.00000	2.00000	-0.53597
20	-4.00000	3.00000	-0.52869

Сформировать нечеткую систему по умолчанию

Оптимизировать

Программная система идентификации нечетких моделей

система | Функции принадлежности

принадлежности | Метод оптимизации | База правил | **Результаты**

Ошибка среднеквадратичная: 5,8514750094118E-5
 Ошибка максимальная: 0,00181450407819727
 Ошибка абсолютная: 0,000296157374346351
 Время оптимизации: 134,689 с

	Znc	ошибка
0.00172	0.00172	0.00000
0.02326	-0.02225	0.00101
0.03913	-0.03743	0.00170
0.03967	-0.03794	0.00173
0.02467	-0.02359	0.00107
0.00000	0.00000	0.00000
0.02467	0.02359	0.00107
0.03967	0.03794	0.00173
0.03913	0.03743	0.00170
0.02326	0.02225	0.00101
0.00172	-0.00165	0.00007
0.02326	-0.02432	0.00106
0.31428	0.31427	0.00000
0.52869	0.52868	0.00001
0.53597	0.53596	0.00001
0.33327	0.33326	0.00001
0.00000	0.00000	0.00000
0.33327	-0.33326	0.00001
0.53597	-0.53596	0.00001
0.52869	-0.52868	0.00001

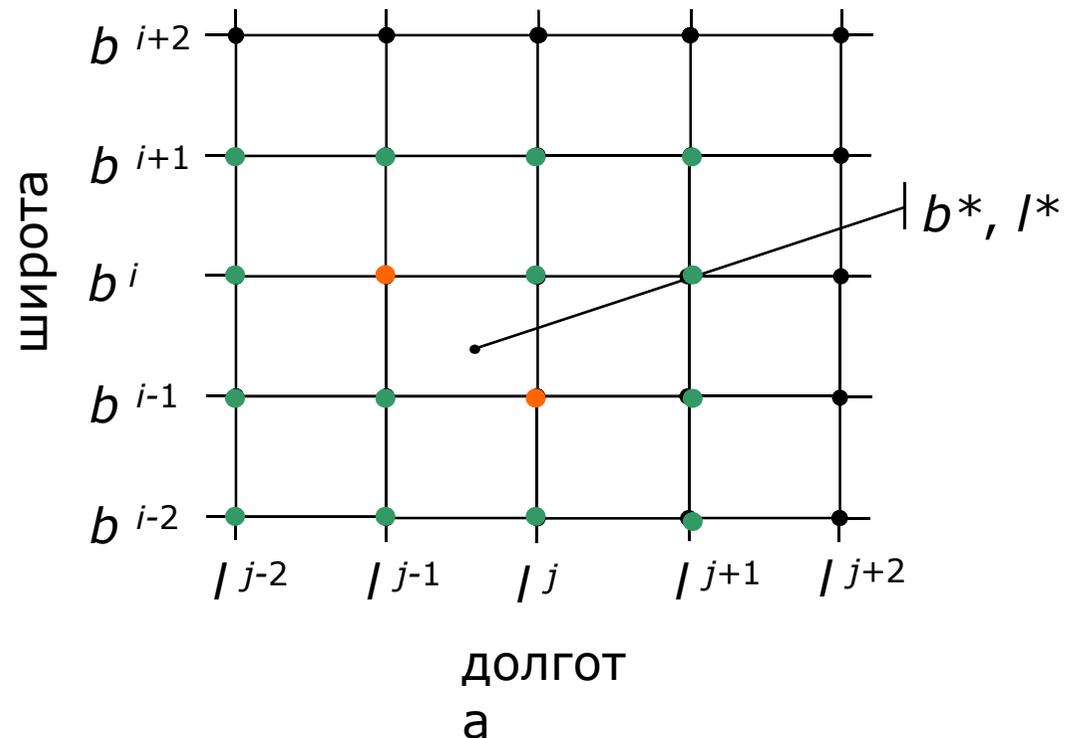
График вывода

Ошибка вывода

Оптимизировать

Нечеткий аппроксиматор атмосферных температурных полей

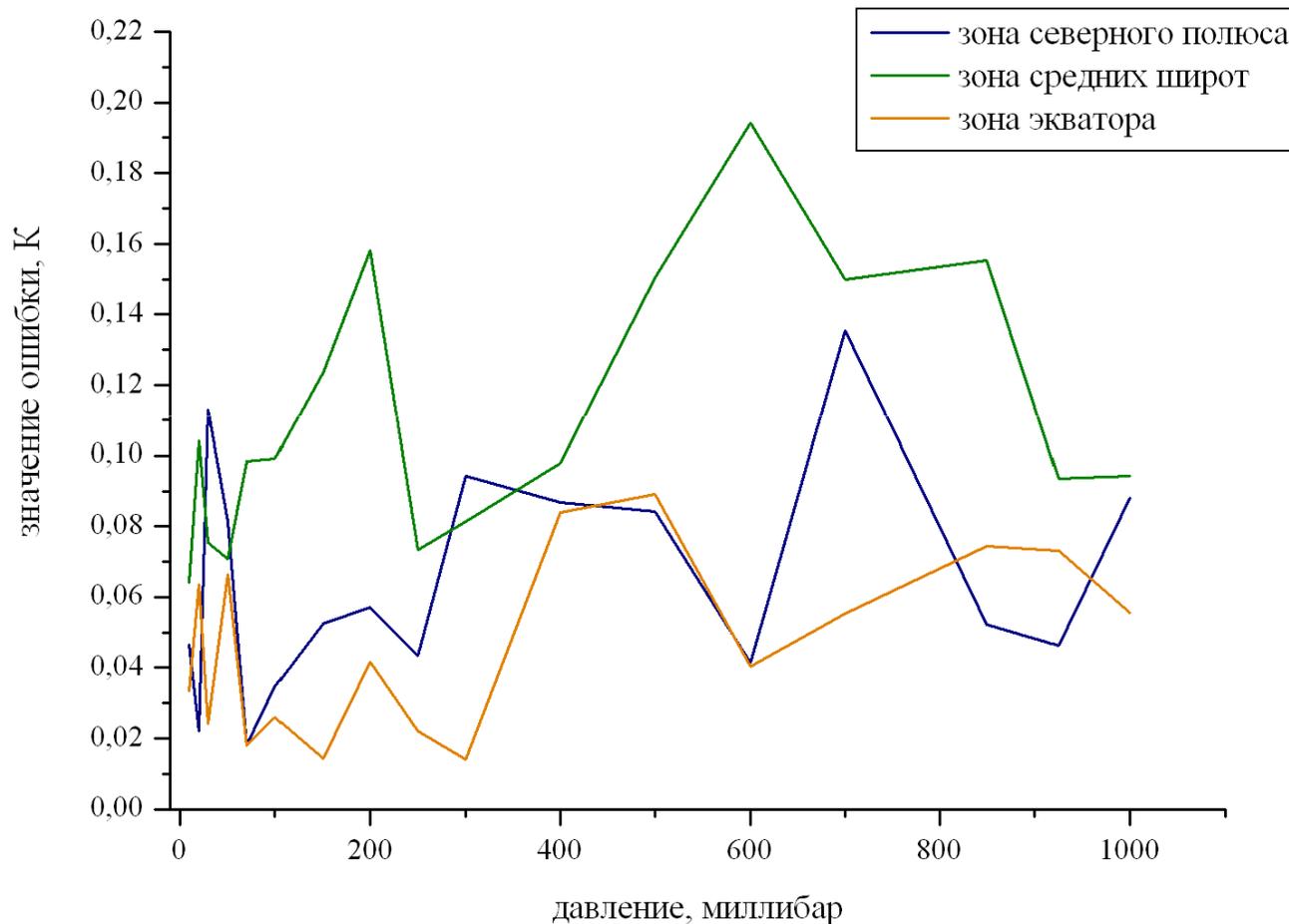
База NCEP
(стандарт netCDF)
сетка $2.5^\circ \times 2.5^\circ$
17 уровней
(10-1000 мб)



- а
- 1: ЕСЛИ широта = «около b^{i+1} » И долгота = «около $|j-2$ » ТО $t^{i+1,j-2}$;
 - 2: ЕСЛИ широта = «около b^{i+1} » И долгота = «около $|j-1$ » ТО $t^{i+1,j-1}$;
 - ...
 - 14: ЕСЛИ широта = «около b^{i-2} » И долгота = «около $|j+1$ » ТО $t^{i-2,j+1}$;



Нечеткий аппроксиматор атмосферных температурных полей



Ошибка представления профиля температуры в различных задачах атмосферной оптики не должна быть выше 0,5K в тропосфере и 1K в стратосфере

(Наставление по глобальной системе обработки данных и прогнозирования. – ТОМ I (Дополнение IV к Техническому регламенту ВМО), октябрь 2005 г.)

Журналы

1. Fuzzy Sets and Systems <http://www.elsevier.com/fss>
2. IEEE Transaction Fuzzy Systems
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=5405632>
3. Evolutionary Computation <http://www.mitpressjournals.org/loi/evco>
4. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems: Applications in Engineering and Technology <http://iospress.metapress.com/content/300180/>
5. IEEE Transactions On Evolutionary Computation
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=4235>
6. Int. J. of Approximate Reasoning <http://www.elsevier.com/locate/ijar>
7. Applied Soft Computing <http://www.elsevier.com/locate/asoc/>
8. Soft Computing <http://www.springer.com/engineering/mathematical/journal/500>
9. Natural Computing <http://www.springerlink.com/content/108905/>
10. Fuzzy Optimization and Decision Making
<http://www.springerlink.com/content/108654/>



Лаборатория интеллектуальных и перспективных систем
кафедра автоматизации обработки информации
ТУСУР

e-mail: lav@muma.tusur.ru

