

УДК 621.3.049.774.681.518.52

# БАЗОВЫЕ АЛГОРИТМЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОСХЕМ<sup>1</sup>

В. Шлаин, А. Глейбман, Д. Вагапов

*Microspec Technologies Ltd, Израиль*

Рассмотрены базовые подходы к автоматизации обнаружения и классификации дефектов, возникающих при производстве микросхем. Описана система для решения проблемы улучшения управления производством микросхем. Обсуждены применяемые алгоритмы обработки изображений, распознавания образов, а также генерации вербальных описаний для автоматически полученных классов дефектов.

## ВВЕДЕНИЕ

На каждом этапе технологического процесса производства микросхем необходим контроль качества продукции. Силиконовый вейфер, на поверхность которого слой за слоем наносятся изображения полупроводниковых схем, подвергается постоянной инспекции. В случае появления дефектов должны быть определены положение дефектов на микросхеме, а также тип дефектов в соответствии с требованиями технологического процесса.

При визуальной инспекции вейферов, производимой оператором с помощью специальной инспекционной станции, оснащенной микроскопом, возникают следующие проблемы: плохая повторяемость определения типов дефектов от оператора к оператору; низкая скорость инспекции и ее высокая стоимость.

В связи с этим очевидна актуальность автоматизации процесса инспекции [1, 2]. Система DCS-4 автоматического обнаружения и классификации дефектов на полупроводниковых вейферах, разработанная в фирме "Microspec Technologies", применяется как дополнение к инспекционным станциям, предназначенным для визуальной инспекции дефектов. Примером такой станции является станция "Axiospect 200" производства

фирмы "Carl Zeiss". На рис. 1 эта станция изображена вместе с одним из экранов системы DCS-4.

Обнаружение и анализ дефектов в системе DCS-4 осуществляются в несколько этапов, основные из которых этап обнаружения и построения маски дефекта, этап вычисления числовых признаков дефекта и этап классификации дефекта. На рис. 2 приведена последовательность алгоритмических задач, решаемых системой. Ниже эти этапы рассмотрены вместе с описанием некоторых алгоритмов и интерфейсных решений, применяемых в системе.

## 1. ЭТАП ОБНАРУЖЕНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ МАСКИ ДЕФЕКТА

Процесс обнаружения обычно требует применения следующих методов обработки и анализа изображений:

- улучшение изображений (фильтрация, сглаживание или увеличение контрастности границ деталей изображений);
- восстановление изображений: зуммирование, ротация;
- регистрация (совмещение) изображений;
- сегментация изображений;
- бинаризация изображений;
- морфологический анализ.

Этап обнаружения состоит из следующих фаз: совмещение изображения дефектной области с референтной областью, не содержащей дефекта; конструирование маски дефекта.

<sup>1</sup> Работа доложена на Научных чтениях памяти профессора А. М. Петровского, Москва, Ин-т проблем управления, 17 марта 2005 г.

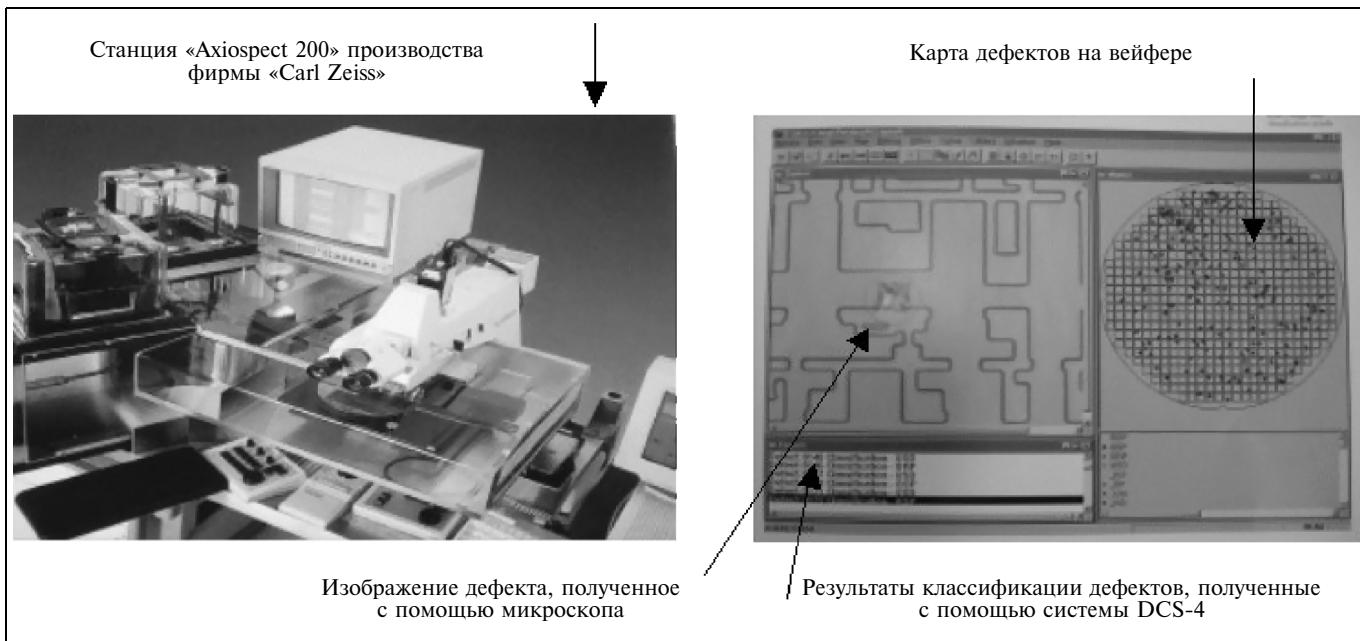


Рис. 1. Станция для инспекции вейферов и один из экранов системы DCS-4

На рис. 3 изображены примеры дефектной области, референтной области, и маски дефекта.

В зависимости от возможностей инспекционной станции и наличия референтных областей возможны разные варианты:

- обнаружение без специального референтного изображения;
- обнаружение с помощью референтного изображения; референтное изображение может быть сопоставлено каждому изображению, содержащему дефект, или множеству однотипных изображений, содержащих дефекты;
- обнаружение с помощью одного референтного изображения (полученного при низком разрешении) и двух изображений, содержащих дефект (при низком и при высоком разрешении).

В качестве примера применяемых методов обработки и анализа изображений приведем алгоритм определения угла  $\alpha$  ротации изображения. Подходы к этой проблеме для работы с текстовыми изображениями описаны в работах [3, 4]. В нашем случае предполагается, что изображение микросхемы в основном состоит из вертикальных и горизонтальных элементов, которые при отсутствии ротации параллельны осям координат (рис. 4).

На первой стадии алгоритма строится матрица  $GD(x, y)$  направлений градиентов в каждой точке изображения ( $\text{tg}(\alpha)$ ):

$$GD(x, y) = \begin{cases} \frac{G_x(x, y)}{G_y(x, y)}, & \text{если } |G_x(x, y)| \leq |G_y(x, y)| \\ -\frac{G_y(x, y)}{G_x(x, y)}, & \text{если } |G_x(x, y)| > |G_y(x, y)|. \end{cases}$$

Здесь  $G_x(x, y)$  и  $G_y(x, y)$  — градиенты в точке  $(x, y)$  изображения в горизонтальном и вертикальном направлениях, соответственно. Затем выбирается шаг  $\Delta$  диск-

ретизации направлений градиентов (исходя из требований точности) и вводится следующая весовая функция:

$$W(x, y, N_\alpha) = \begin{cases} 1, & \text{если } N_\alpha \cdot \Delta \leq GD(x, y) < (N_\alpha + 1) \cdot \Delta \\ 0 & \text{— в противном случае,} \end{cases}$$



Рис. 2. Последовательность алгоритмических задач, решаемых системой

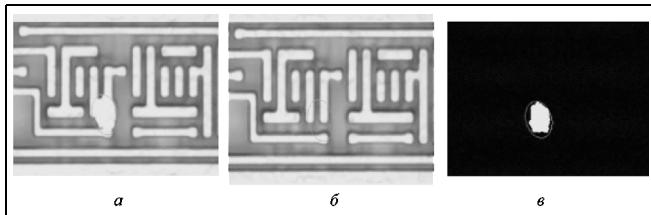


Рис. 3. Дефектная область микросхемы (а), референтная область (б), маска дефекта (в)

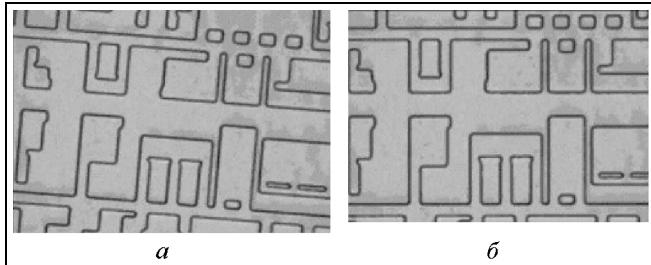


Рис. 4. Изображение микросхемы с ротацией (а) и восстановленное изображение (б)

где  $N_\alpha$  — индекс интервала дискретизации. Далее строится функция  $H(N_\alpha)$  распределения направлений градиентов:

$$H(N_\alpha) = \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y W(x, y, N_\alpha),$$

где  $X$  и  $Y$  — размеры изображения по горизонтали и вертикали, соответственно.

Исходя из характеристик функции распределения, прогнозируется угол ротации изображения. Проведенный анализ оптических изображений показал, что грубую оценку угла ротации в диапазоне  $[-1^\circ, 1^\circ]$  можно получить путем оценки среднего функции распределения  $H(N_\alpha)$ , а в диапазоне  $(-45^\circ, -1^\circ) \cup (1^\circ, 45^\circ)$  — путем определения аргумента пика этой же функции распределения. Более точное определение угла ротации изображения в диапазоне  $[-1^\circ, 1^\circ]$  можно получить, используя линейную аппроксимацию зависимости между средним значением  $\mu$  функции распределения и тангенсом угла ротации  $\operatorname{tg}(\alpha) = c\mu + d$ , где  $c = 1,22233$  и  $d = 0,00222$  — константы, вычисленные в процессе проведенного регрессионного анализа. При угле ротации, находящемся в диапазоне  $(-45^\circ, -1^\circ) \cup (1^\circ, 45^\circ)$ , задача ротации приводится к описанной выше задаче для диапазона  $[-1^\circ, 1^\circ]$  путем коррекции функции распределения  $H(N_\alpha)$  в соответствии с грубой оценкой ротации изображения. После определения угла ротации коррекция ротированного изображения производится с помощью метода бикубической интерполяции [5].

## 2. ЭТАП ВЫЧИСЛЕНИЯ ЧИСЛОВЫХ ПРИЗНАКОВ ДЕФЕКТА

Этот этап относится к анализу изображений. Вычисляются числовые признаки дефекта и его окружения на микросхеме. Числовые признаки, используемые в описываемой системе, можно разбить на следующие группы:

- морфологические признаки (размеры и форма дефекта);
- признаки локализации дефекта по отношению к границам и сегментам микросхемы, содержащим различные материалы;
- признаки, определяющие материал и цветовые характеристики дефекта;
- признаки, относящиеся к текстуре дефекта.

В качестве примера приведем алгоритмы вычисления признаков solid (цельный) и symmetric (симметричный), относящиеся, соответственно, к текстуре и морфологии дефекта.

**Solid (цельный).** Этот признак характеризует степень разбиения маски дефекта на отдельные (не связанные) части, а также степень рассеяности этих частей. Алгоритм вычисления этого признака базируется на основном тождестве дисперсионного анализа (соотношении частных и общей вариаций), которое здесь рассматривается применительно к расположению пикселей маски дефекта на плоскости:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i + \sum_{i=1}^n N_i(M - M_i)^2.$$

Здесь  $V$  — общая дисперсия положений пикселей маски дефекта относительно общего среднего  $M$ ,  $V_i$  — частная дисперсия для  $i$ -й отдельной части маски дефекта относительно среднего значения  $M_p$ ,  $N_i$  — число пикселей в  $i$ -й части,  $n$  — общее число частей маски дефекта. Второй член в этом выражении соответственно обозначает вариацию частных средних относительно общей. Значение признака  $S$  (solid) определяется с помощью этого тождества как

$$S = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n V_i = 1 - \frac{1}{V} \sum_{i=1}^n N_i(M - M_i)^2.$$

Отсюда видно, что если дефектная маска цельная ( $n = 1$ ), то  $S = 1$ . Если число частей маски приближается к  $n$ , то значение  $S$  приближается к нулю. Для более рассеянных (на плоскости) дефектов значение  $S$  меньше, чем для менее рассеянных.

**Symmetric (симметричный).** Этот признак характеризует осевую симметрию дефекта относительно оси, для которой данная симметрия имеет наибольшее возможное значение. Нахождение оси симметрии базируется на вычислении направления большей оси эллипса рассеивания дефекта. Маска дефекта ротируется до совпадения оси симметрии с вертикальной осью. Затем вычисляется значение *асимметрии* маски относительно данной оси.

Алгоритм состоит в вычислении отношения средних  $M_y$  третьего момента и куба стандартных отклонений, вычисляемых для каждой строки у координат  $x$  маски дефекта:

$$\text{Symmetric} = 1 - |M_y(|S_x^3(y)|)| / M_y(\delta_x^3(y)),$$

где  $S_x^3$  — третий момент координат  $x$  маски дефекта,  $\delta_x$  — стандартное отклонение.

В системе значения признаков преобразуются в предикаты нечеткой логики путем отображения значений признаков в интервал  $[0, 1]$ .

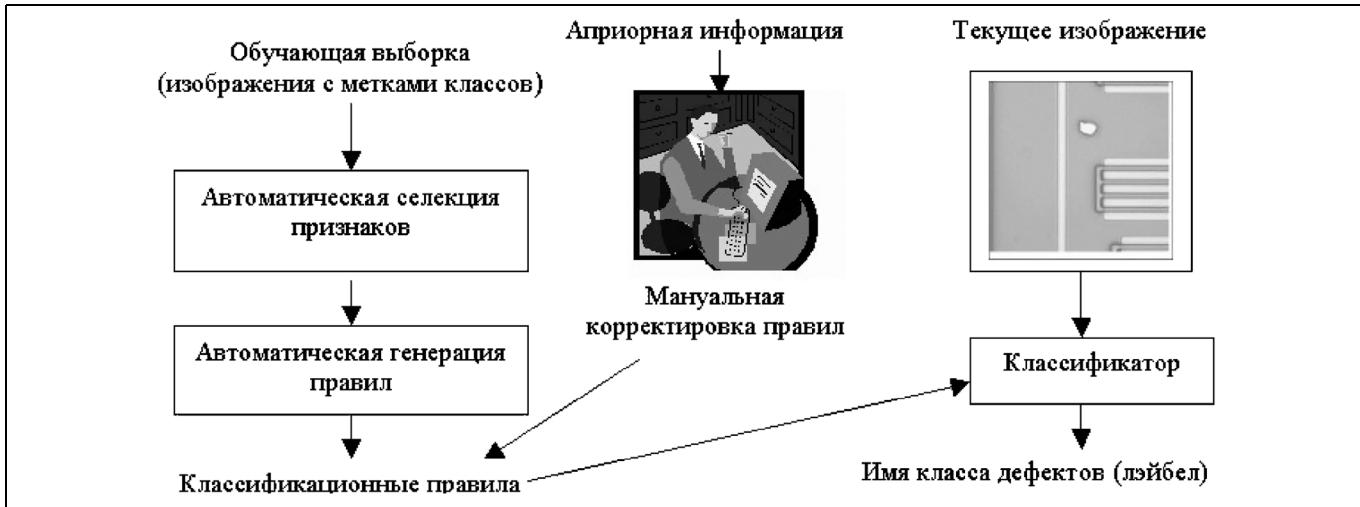


Рис. 5. Общая схема классификации дефектов в системе DSC-4

### 3. ЭТАП КЛАССИФИКАЦИИ

На этом этапе осуществляются:

- классификация дефектов с помощью методов распознавания образов;
- интерактивная поддержка пользователя в определении новых классов дефектов, выполняемая с помощью методов кластерного анализа и специальной лингвистической поддержки.

#### 3.1. Общая схема классификации дефектов

Общая схема классификации дефектов приведена на рис. 5. Создание классификационных правил производится в режиме обучения системы. Классификация дефектов на основе этих правил производится в режиме реального времени.

#### 3.2. Концепция мультиклассификации

Решение задачи классификации в системе DCS-4 опирается на специальную концепцию мультиклассификации: наличие нескольких методов классификации и их применение в зависимости от соотношения количества априорной и статистической информации. Кон-

цепция мультиклассификации схематически изображена на рис. 6.

**Мануальное создание правил нечеткой логики.** Если обучающая выборка отсутствует, но имеется априорная информация о предполагаемых дефектах, применяется алгоритм классификации, основанный на теории нечетких множеств Заде [6].

**Полуавтоматическая генерация правил нечеткой логики.** Если обучающая выборка мала и имеется априорная информация о предполагаемых дефектах, применяется алгоритм автоматической генерации правил классификации, также базирующийся на основе логики нечетких множеств Заде. Впоследствии пользователь имеет средства и возможность корректировать классификационные правила вручную в соответствии с имеющейся у него априорной информацией.

**Полностью автоматическая генерация правил классификации.** Если обучающая выборка достаточно велика для статистического анализа, применяется полностью автоматическая генерация правил классификации, основанная на модифицированном методе ближайшего соседа. При этом методе автоматически отбираются наиболее информативные признаки.

#### 3.3. Применение методов нечеткой логики для мануального и полуавтоматического создания правил классификации

При классификации дефектов с помощью логики нечетких множеств в системе применяются символьные классификационные правила вида

$$R = \bigwedge_{i=1}^n \left( \bigvee_{j=1}^{m_i} (md_j(P_j)) \right),$$

где операторы  $\&$  и  $|$  соответственно обозначают операции конъюнкции и дизъюнкции, которым в приложениях логики нечетких множеств чаще всего соответствуют операции  $\min$  и  $\max$ ,  $md_j$  — функция, называемая модификатором предиката,  $P_j$  — предикат нечеткой логики, получаемый из признака. Следующий пример иллюстрирует правило для класса, состоящего из рассыпанных



Рис. 6. Концепция мультиклассификации



на части очень темных дефектов, форма которых может быть либо симметричной, либо немного удлиненной:

$$R = \text{Very (Dark Defect Surface)} \& \text{Not (Solid Defect Structure)} \& (\text{Symmetric Defect Form} \mid (\text{More-or-Less (Elongated Defect Form)})).$$

Здесь применены модификаторы *Very*, *Not* и *More-or-Less*, которым соответствуют следующие функции:

$$\text{Very}(P) = P^2, \text{Not}(P) = 1 - P, \text{More-or-Less}(P) = \sqrt{P}.$$

Автоматическая генерация правил этого вида с помощью обучающей выборки основана на поиске наилучшей комбинации (минимизирующей средний риск ошибки классификации) предикатов и модификаторов в правилах. Средний риск оценивается методом “скользящего контроля”. Правила подобного вида впоследствии могут быть легко скорректированы пользователем.

#### 3.4. Полностью автоматическое получение решающих правил

Классификация дефектов с помощью метода ближайшего соседа производится на основе вычисления функции  $\text{vote}_K(l, v) = \sum_{k \in K} f(v, k, l)$  для каждого класса  $l$ , где  $l$  — метка класса,  $K$  — множество ближайших соседей (векторов) объекта  $v$ ,

$$f(v, k, l) = \begin{cases} 1 & \text{при } k = l \\ 0 & \text{при } k \neq l. \end{cases}$$

Метка класса для вектора  $v$  определяется как  $\text{ClassLabel}(v) = \arg \max_l \text{vote}_K(l, v)$ . Отбор ближайших соседей вектора  $v$  производится с помощью некоторой метрики  $d(x, y)$  в соответствующем пространстве признаков.

В системе применяется модифицированный метод ближайшего соседа. Для каждой пары классов  $(i, j)$  из множества пар классов  $C$  путем полного перебора ищется пара признаков  $(F_m, F_n)^*$ , минимизирующая оценку среднего риска, вычисляемую методом “скользящего контроля” по обучающей выборке. Таким образом, для каждой пары классов находится оптимальное признаком пространство  $C_{ij} \rightarrow (F_m, F_n)^*$ .

В процессе принятия решения (классификации) для объекта  $v$  производится классификация  $C_{ij}(v)$  для всех комбинаций пар классов  $(i, j)$ . Далее строится функция распределения полученных классификаций для объекта  $v$ :

$$\text{vote}_C(l, v) = \sum_{i=1}^{L-1} \sum_{j=i+1}^L F(l, C_{ij}(v)),$$

где  $L$  — общее число классов,

$$F(l, C_{ij}(v)) = \begin{cases} 1 & \text{при } C_{ij}(v) = l \\ 0 & \text{при } C_{ij}(v) \neq l. \end{cases}$$

Результат классификации на основе данного множества пар классов определяется как  $\text{ClassLabel}(v) = \arg \max_l \text{vote}_C(l, v)$ .

#### 3.5. Определение новых классов дефектов

В системе имеется специальная интерактивная семантическая подсистема поддержки пользователя при определении новых классов дефектов, осуществляющая следующие функции:

— пользователь может выбрать подмножество предикатов, перспективных для разделения множества неизвестных ранее дефектов на классы;

— на основе этих предикатов дефекты автоматически разделяются на кластеры;

— для каждого полученного кластера (множества дефектов, не имеющих меток принадлежностей к классам) автоматически порождается вербальное описание, характеризующее средние значения выбранных предикатов в кластере.

На рис. 7 изображена схема интерактивной поддержки пользователя при определении новых классов дефектов.

Дефекты разбиваются на кластеры с помощью варианта метода  $K$ -средних ( $K$ -means) для нечетких множеств (fuzzy  $K$ -means [7]), при котором минимизируется значение целевой функции

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K w_{ij}^m \|v_i - c_j\|^2,$$

где  $m$  — константа, определяющая скорость сходимости алгоритма ( $1 < m < \infty$ ),  $N$  — общее число имеющихся дефектов,  $K$  — требуемое число кластеров,  $v_i$  — вектор значений предикатов для  $i$ -го дефекта,  $c_j$  — вектор, определяющий центр  $j$ -го нечеткого кластера,  $w_{ij}$  — значение функции принадлежности (степень принадлежности вектора  $v_i$  к  $j$ -му нечеткому кластеру). Итеративный процесс оптимизации данной целевой функции определяется следующим обновлением значений  $w_{ij}$  и  $c_j$ :

$$w_{ij} = \sum_{k=1}^K \left( \frac{\|v_i - c_k\|}{\|v_i - c_{kj}\|} \right)^{\frac{-2}{m-1}}, \quad c_j = \frac{\sum_{i=1}^N w_{ij}^m v_i}{\sum_{i=1}^N w_{ij}^m},$$

$i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, K$ , с остановкой в момент, когда изменения степеней принадлежности не превышают некоторый порог  $\varepsilon \in [0, 1]$  (критерий остановки), т. е.  $\max_{ij} \{|w_{ij}^{(k+1)} - w_{ij}^{(k)}|\} < \varepsilon$ , где  $k$  означает шаг итерации. Число требуемых кластеров либо задается пользователем, либо определяется автоматически. В последнем случае  $K$  определяется с помощью анализа гистограммы расстояний между дефектами в выбранном предикатном пространстве.

Далее приведен пример использования значений признаков в центроиде  $c_j$  при генерации вербального описания  $j$ -го кластера (для  $j = 1, 2, \dots, K$ ) в лингвистической части системы.

Семантическая поддержка устроена следующим образом. Группы предикатов образуют специальное онтологическое дерево, зависящее от текущей реализации алгоритмов вычисления признаков в системе. Листовые вершины этого дерева определяют соответствие между так называемыми  *свойствами, позитивными предложе-*

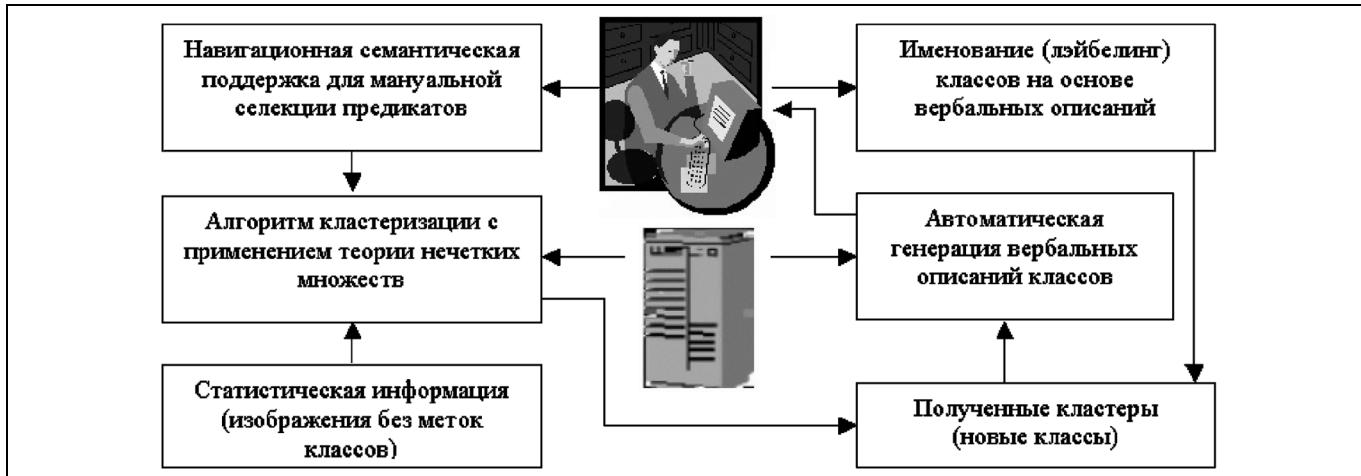


Рис. 7. Интерактивная поддержка пользователя в определении новых классов дефектов

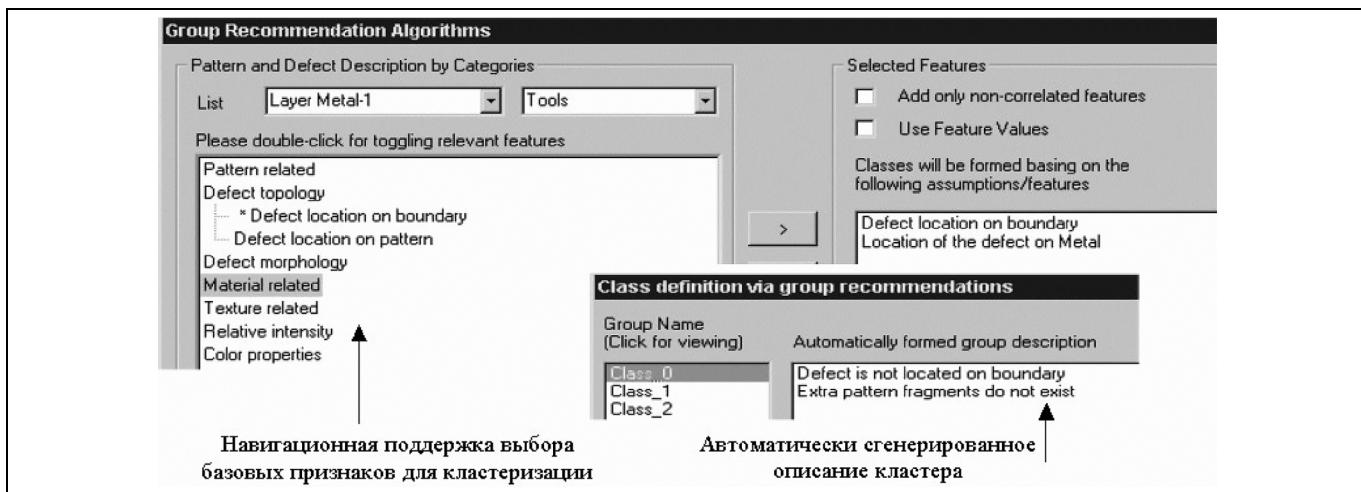


Рис. 8. Навигация в иерархии признаков, кластеризация и генерация вербального описания изображений дефектов

ниями и именами предикатов. Свойством (property) здесь называется некоторое вербальное описание предиката; позитивным предложением (positive statement) называется утверждение о присутствии соответствующего признака у дефекта; именем предиката (predicate name) называется имя соответствующего предиката в системе.

Онтологическое дерево строится с помощью специальной скобочной структуры. Рассмотрим следующий фрагмент этой структуры:

```
{ Defect topology
  { Defect location on boundary
    { property: Location of the defect relating to boundary
      positive statement: Defect is located on boundary
      predicate name: On boundary
    { Defect location on pattern
```

Последовательность Defect topology → Defect location on boundary определяет навигацию к соответствующей листовой вершине дерева. Позитивное предложение Defect is located on boundary может быть модифицировано в негативную форму Defect is not located on boundary и в несколько нечетких форм, например, Defect is more or

less located on boundary. Эти формы будут сгенерированы автоматически в соответствии с результатом разбиения дефектов на кластеры. Они информируют пользователя о характеристиках полученных групп дефектов. Модификация позитивного предложения, в зависимости от значения предиката  $P$  в центроиде  $c_j$   $j$ -го кластера, производится следующим образом:

$P < t_1 \rightarrow$  строится негативная форма предложения;  
 $t_1 \leq P < t_2 \rightarrow$  строится нечеткая форма предложения;  
 $t_2 \leq P \rightarrow$  позитивное предложение не модифицируется.

Здесь  $t_1$  и  $t_2$  — специальные пороговые константы, управляющие модификацией данных предложений. На рис. 8 приведен пример диалога, иллюстрирующего семантическую поддержку выбора предикатов и генерацию вербальных описаний полученных классов.

На основе полученных вербальных описаний пользователь может принять соответствующее решение об именовании классов или полностью повторить описанную выше процедуру в новом предикатном пространстве.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В системе DCS-4 применен спектр научных и технических методов, относящихся к разным областям (таким, как распознавание образов, теория нечетких множеств, анализ и обработка изображений, организация диалога с оператором, лингвистика, архитектура сложных программных комплексов). Подобное сочетание разных методов характерно для современной компьютерной индустрии, относящейся к производству сверхсложных изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zant P. V. Microchip Fabrication. A Practical Guide to Semiconductor Processing. — McGraw-Hill, 2000.
2. Luria M., Moran M., Yaffe D., Kawski J. DCS-1: A Fuzzy Logic Expert System for Automatic Defect Classification of Semi-

conductor Wafer Defects. — Galai Laboratories, Migdal Haemek, Israel; ADE Corporation, Boston, Mass., © 1994 IEEE.

3. Amin A., Fisher S., Parkinson A., and Shiu R. Comparative Study of Skew Detection Algorithms // Journal of Electronic Imaging. — October 1996. — N 5. — P. 443—451.
4. Okun O., Pietikainen M., and Sauvola J. Document Skew Estimation without Angle Restriction // Int. Journal on Document Analysis and Recognition. — 1999. — N 2. — P. 132—144.
5. Lehmann T. M., Gonner C., Spitzer K. Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing // IEEE Trans. on Medical Imaging. — 1999. — Vol. 18, N 11. — P. 1049—1075.
6. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and Control. — 1965. — N 8. — P. 338—353.
7. Bezdek J. C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms // New York: Plenum Press, 1981.

☎ +972-4-989-44-55 (ext. 111)

E-mail: vladimir@microspec.co.il

[www.microspec.co.il](http://www.microspec.co.il)



## Новая книга

### Человеческий фактор в управлении / Под ред. Н.А. Абрамовой, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. — М.: КомКнига, 2006. — 496 с.

Книга представляет собой сборник статей ученых Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, в которых представлены различные аспекты влияния человеческого фактора на решение задач управления. Организуя это издание, Институт рассчитывает привлечь внимание специалистов к комплексному изучению роли человеческого фактора в решении современных проблем управления, к интеграции подходов и идей, имеющихся в разных направлениях исследований и способных повлиять на качество решения практических задач управления.

#### Содержание книги

**Предисловие:** Развитие представлений о человеческих факторах в науке управления  
Абрамова Н.А. Рефлексивный подход к проблеме взаимопонимания

Алескеров Ф.Т., Беляева Н.Ю., Бычкова Е.Б., Закамская Е.В., Юзбашев Д.А. Сравнительный анализ развитости гражданского общества Регионов России

Амбарцумян А.А., Браництов С.А. Модели профильного включения персонала в управление сложными технологическими процессами

Бабиков В.М., Панасенко И.М. Учет человеческого фактора при обеспечении надежности человеко-машинных систем

Бурков В.Н., Буркова И.В. Человеческий фактор в задачах управления социальными и экономическими системами

Гребенюк Е.А., Логунов М.Г., Мамиконова О.А., Панкова Л.А. Проблемы субъективности в решении задач управления и прогноза, связанных с анализом временных рядов

Дозорцев В.М. Психологические проблемы компьютерного тренинга операторов технологических процессов

Дорофеюк А.А., Чернявский А.Л. Методы принятия решений в организационных системах с учетом человеческого фактора

Кононов Д.А., Кульба В.В., Малюгин В.Д., Шубин А.Н. Информационные процессы и информационное управление

Кузнецов О.П., Кулинич А.А., Марковский А.В. Анализ влияний при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт

Мандель А.С., Семёнов Д.А. Скоринг-оценивание и оптимизация процесса кредитования физических лиц как задача принятия решений в замкнутом контуре управления

Нижегородцев Р.М. Проблема человеческого капитала в современной экономической науке и технологическая политика государства

Новиков Д.А. Современные проблемы теории управления организационными системами

Трахтенгерц Э.А. Субъективность в стратегическом управлении

Чхартишвили А.Г. Теоретико-игровое моделирование информационного управления в активных системах

Шит Б.М. Электрические методы оценки теневой экономики

Щепкин А.В. Игровое моделирование организационных систем

Юдицкий С.А. Модель взаимодействия сознания и подсознания при решении задач управления

По вопросам приобретения обращайтесь по адресу [URSS@URSS.ru](mailto:URSS@URSS.ru). См. также <http://URSS.ru>