

Автор ер.
К 56

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ им. М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

КОВАЛЕВ Евгений Леонидович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
СОРТИРОВКОЙ ШТУЧНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Специальность 05.13.07 - автоматическое управле-
ние и регулирование, управление технологическими
процессами (промышленность)

Перечет 19.84

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1980

См

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы автоматизации управления процессом сортировки штучных пищевых продуктов определяется тем, что она направлена на решение научных и государственных задач, претворение в жизнь указаний Ноябрьского (1979 года) пленума ЦК КПСС в деле разработки оборудования для первичной обработки и сортировки скоропортящихся продуктов. Особое значение имеет проблема повышения качества автоматического управления процессом сортировки продуктов в пищевой промышленности, рыбном хозяйстве и сельскохозяйственном производстве, в частности, для консервной и рыбообрабатывающей отраслей, так как ее решение способствует более рациональному использованию сырья и повышению качества продукции.

Рост уровня механизации и автоматизации в сельском и рыбном хозяйствах страны, внедрение механизированных способов уборки плодов и овощей и добычи рыбы, приводит к повышению неоднородности сырья, поступающего на консервные заводы и другие перерабатывающие предприятия. Внедрение на рыбзаводах и предприятиях пищевой промышленности механизированных и автоматизированных поточных линий, ориентированных на высококачественное сырье, обуславливает повышение требований, предъявляемых к качеству автоматического управления процессом сортировки. Сезонный характер сырья, нестабильность и статистическая неоднородность характеристик сортируемых объектов приводят к необходимости использования адаптивной системы управления процессом сортировки штучных пищевых продуктов, обеспечивающей возможность оперативного переобучения при изменениях состава и свойств сортируемых объектов. Однако, как показывает анализ литературы, современные машины и автоматы для сортировки штучных пищевых продуктов обладают ограниченными функциональными возможностями и предназначены для сортировки объектов определенной формы, что значительно снижает эффективность их применения.

Таким образом, задачи исследования и разработки обобщенного метода автоматической классификации штучных пищевых объектов с учетом их формы, синтеза структуры и алгоритма функционирования системы управления сортировкой сырья являются актуальными.

Цель работы заключается в повышении качества автоматического управления процессом сортировки штучных пищевых продуктов при изменениях технологического задания, состава и свойств сортируемых объектов.

Автор защищает результаты исследования и разработки метода автоматической классификации штучных пищевых продуктов и разработки на этой основе технических средств контроля и управления технологическим процессом сортировки в условиях АСУТП.

Повышение качества автоматического управления сортировкой штучных пищевых продуктов достигается при применении оперативно обучаемой системы, осуществляющей автоматическую классификацию объектов по подстраиваемым стохастическим моделям классов.

Научная новизна работы

1. На основе исследования моделей классов и анализа информативности автоматически контролируемых параметров сортируемых объектов разработан обобщенный метод автоматической классификации штучных пищевых продуктов, посредством кусочно-линейной аппроксимации решающих функций. Доказано, что алгоритмы функционирования современных сортировочных машин и автоматов являются частным случаем предложенного метода классификации.

2. Доказано, что рациональной структурой системы управления сортировкой штучных объектов является двухуровневая иерархическая схема, включающая контур автоматического управления технологическим роботом и контур обучения и оптимизации, оборудованные единой информационно-измерительной системой.

3. Экспериментально установлено, что признаки, характеризующие форму сортируемых штучных объектов, определяются при сжатию описания методом пространственной фильтрации двумерных изображений с помощью крестообразной сканирующей апертуры.

4. Доказано, что повышение качества автоматического управления процессом сортировки штучных пищевых продуктов достигается введением в контур управления адаптивным технологическим роботом системы автоматической классификации. Показана возможность технической реализации системы управления адаптивным роботом для сортировки пищевых продуктов при использовании метода конвейерной обработки информации.

5. Получен комплексный критерий для оптимизации системы управления сортировкой штучных пищевых продуктов и разработан алгоритм определения оптимального подпространства признаков для каждой пары классов сортируемых объектов.

6. Экспериментально получены численные оценки информативности признаков, характеризующих форму расчетного вида пищевых продуктов, и определены стохастические модели классов, позволяющие произвести автоматическую классификацию сортируемых объектов.

7. Разработаны новые технические средства для автоматического контроля параметров и классификации сортируемых объектов. Новизна разработанных средств подтверждена выполнением их на уровне изобретений.

Практическая ценность работы состоит в следующем:

- предложен алгоритм управления процессом сортировки штучных пищевых продуктов, обеспечивающий требуемое качество автоматического управления при изменениях состава и свойств сортируемых объектов,

- разработана система управления адаптивным роботом для сор-

тировки штучных объектов, обеспечивающая автоматическую классификацию при использовании моделей классов,

- разработана и внедрена информационно-измерительная система для автоматического контроля параметров, характеризующих качество сортируемых объектов,

- определены параметры настройки автоматической системы управления сортировкой рыб по видам.

Реализация результатов работы состоит в практическом применении информационно-измерительной системы для решения задачи автоматической классификации объектов по их двумерным изображениям.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались автором и обсуждены на Всесоюзной научно-технической конференции по состоянию, перспективам разработки и применения средств вычислительной техники для управления технологическими процессами и автоматизации научного эксперимента (г. Северодонецк, 1979 г.), на Всесоюзной научно-технической конференции по проблемам кибернетики в сельскохозяйственном производстве (г. Одесса, 1979 г.), на Республиканской научно-технической конференции по применению математических методов и средств вычислительной техники в экономических и экологических исследованиях водной среды (г. Одесса, 1979 г.), на Республиканском семинаре по проблемам кибернетики при Южном научном центре АН УССР (1977, 1978, 1979 г.), на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, сотрудников и аспирантов Одесского технологического института холодильной промышленности (1978, 1979 г.), на заседании НТС по проблеме "Интегральные роботы" (1980 г.).

Публикация. Результаты, составляющие основное содержание диссертации отражены в 8 печатных работах, 1 авторском

свидетельстве и положительном решении Госкомизобретений.

Структура диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Работа содержит 124 страницы машинописного текста, 44 рисунка, 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрен вопрос об актуальности выбранной темы - автоматизации управления процессом сортировки штучных пищевых продуктов и дана краткая аннотация того нового, что вносится автором в исследование этой проблемы.

В первой главе проведен анализ технологических требований, предъявляемых к сортировке штучных пищевых продуктов, из которого следует, что сортировка штучных пищевых продуктов должна производиться по типовым размерам или геометрическим параметрам и форме, по цвету и просвечивающей способности сортируемых объектов (см. табл. I).

Выполненный в первой главе анализ существующих машин и автоматов для сортировки штучных пищевых продуктов показал в целом их ограниченные функциональные возможности, что обусловлено, в первую очередь, их ориентацией на объекты определенной формы и цвета, разделением сортируемых объектов на конечное число фракций, а также отсутствием систем, обеспечивающих сортировку объектов по форме. Использование для автоматической классификации сортируемых объектов линейных решающих функций и, соответственно, линейных моделей классов сортируемых объектов также ограничивает функциональные возможности сортировочных машин и автоматов. Для автоматической классификации объектов с эталоном сравнивают непосредственно измеренные значения параметров $z_1^0, z_2^0, \dots, z_p^0$

$$z^0 \in \Omega_i \quad \text{если} \quad \begin{cases} C_1^{(i)} \leq z_1^0 \leq C_2^{(i)} \\ C_3^{(i)} \leq z_2^0 \leq C_4^{(i)} \\ \vdots \\ C_{2p-1}^{(i)} \leq z_p^0 \leq C_{2p}^{(i)} \end{cases}; \quad z^0 \notin \Omega_i \quad \text{если} \quad \begin{cases} z_1^0 < C_1^{(i)}, z_1^0 > C_2^{(i)} \\ z_2^0 < C_3^{(i)}, z_2^0 > C_4^{(i)} \\ \vdots \\ z_p^0 < C_{2p-1}^{(i)}, z_p^0 > C_{2p}^{(i)} \end{cases}, \quad (I)$$

Таблица I

№	Наименование сортируемых продуктов	Технологические требования, предъявляемые к сортировке			Продукция (наименование)			
		Признаки	Контролируемые параметры объектов	Точность измерения параметров объектов		Число фракций	Производительность При ручном сортировании т/час	
I.	Плоды томатов	Степень зрелости	$\gamma, \gamma_{\epsilon}, \rho$		2-5	60-90	10-20	Продукты томатные концентрированные
		Размеры, форма	d, L, H	± 5 мм	3-5	50-80	3-5	Томаты консервированные целые, соления, соки.
2.	Огурцы	Размеры, форма	d, L, H	± 5 мм	2-4	60-90	3-6	Огурцы консервированные целые, овощекусочные консервы, соления
3.	Яблоки	Степень зрелости, размеры, форма	$\gamma, \gamma_{\epsilon}, \gamma_{\epsilon}$ ρ, d, L, H		3-5		3-5	Консервы детского питания, соки
4.	Морковь	Размеры, форма	d	± 10 мм	3-5	60-80	3-5	Консервы детского питания, овощекусочные консервы, соки
5.	Кабачки	Размеры, форма	d, L	± 10 мм	2-4	40-60	3-5	Консервы детского питания, овощекусочные консервы
6.	Картофель	Размеры, форма	d, L		3-5	60-100		
7.	Листья табака	Цвет листа	$\gamma, \gamma_{\epsilon}, \gamma_{\epsilon}$					
8.	Рыба	Виды, размеры	L, H	± 1 мм	2-7	40-60	3-5	Рыба свежемороженая, филе, консервы рыбные

$\gamma, \gamma_{\epsilon}, \gamma_{\epsilon}, \rho$ - отражательная способность объектов в красном, зеленом, желтом участках спектра; L, H - длина; H - высота; d - диаметр объекта; ρ - полоса поглощения хлорофилла;

где \bar{x}^0 - вектор, характеризующий объект набором значений параметров $x_1^0, x_2^0, \dots, x_p^0$.

$C_1^{(i)}, C_2^{(i)}, \dots, C_{2p}^{(i)}$ - константы для класса Ω_i сортируемых объектов.

Из проведенного анализа способов и систем автоматической сортировки штучных пищевых продуктов следует, что автоматически контролируемые параметры объектов выбираются эвристически на основании субъективного анализа априорной информации о распределениях значений параметров по объектам всех классов без учета их информативности.

Сезонность сырья и статистическая неоднородность качественных характеристик сортируемых объектов, изменения технологического задания, обусловленные широкой номенклатурой выпускаемой продукции, приводят к необходимости разработки адаптивной системы управления процессом сортировки, которая должна обеспечивать возможность оперативного обучения системы при любых изменениях состава и свойства сортируемых объектов. В обучающихся системах управления сортировкой штучных пищевых продуктов для автоматической классификации объектов должны использоваться подстраиваемые вероятностные модели классов сортируемых объектов. Исследование моделей классов штучных пищевых продуктов при использовании для их описания стохастических признаков проводится во второй главе.

При исследовании стохастических моделей классов штучных пищевых продуктов были наложены ограничения на используемые для описания объектов признаки X_1, X_2, \dots, X_N . Предполагалось, что для описания объектов используются безразмерные признаки X_1, X_2, \dots, X_N , являющиеся функциями автоматически контролируемых параметров x_1, x_2, \dots, x_p объектов, а значения этих признаков распределены по объектам всех классов. Использование стохастических признаков, определяемых через элементарные функции параметров объ-

ектов

$$x_1 = \frac{x_1}{x_2}; x_2 = \frac{x_1^2}{x_3 x_2}; x_3 = \frac{x_1 - x_2}{x_3}; x_4 = \frac{x_1 + x_2 - x_3}{x_1 - x_2}; \dots \quad (2)$$

позволяет сделать вывод о наличии случайных ошибок в определяемых согласно (2) значениях. Тогда закон распределения значений признаков по объектам любого из заданных классов $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m$ априорно можно полагать нормальным. Следовательно, любой отдельно взятый класс сортируемых объектов описывается N -мерным эллипсоидом рассеивания, который при $N = 2$ можно получить в аналитической форме:

$$\frac{(x_1 - M_1)^2}{\sigma_1^2} + \frac{(x_2 - M_2)^2}{\sigma_2^2} - \frac{2k_{12}(x_1 - M_1)(x_2 - M_2)}{\sigma_1 \sigma_2} = const. \quad (3)$$

где M_1, M_2 - математическое ожидание случайных величин x_1 и x_2
 σ_1^2, σ_2^2 - дисперсия, k_{12} - коэффициент взаимной корреляции x_1 и x_2 .

Таким образом, разделяющая функция $f_2(\bar{x})$ для объектов одного класса при произвольном числе N используемых признаков, может быть получена в виде

$$f_2(\bar{x}) = A_1^{(2)} x_1^2 + A_2^{(2)} x_2^2 + \dots + A_N^{(2)} x_N^2 + B_1^{(2)} x_1 x_2 + B_2^{(2)} x_1 x_3 + \dots + B_{N-1}^{(2)} x_1 x_N + B_N^{(2)} x_2 x_3 + B_{N+1}^{(2)} x_2 x_4 + \dots + B_{2N-3}^{(2)} x_2 x_N + B_{2N-2}^{(2)} x_3 x_4 + B_{2N-1}^{(2)} x_3 x_5 + B_T^{(2)} x_{N-1} x_N + C_1^{(2)} x_1 + C_2^{(2)} x_2 + \dots + C_N^{(2)} x_N + E^{(2)}, \quad (4)$$

где $A_1^{(2)}, A_2^{(2)}, \dots, E^{(2)}$ - константы для класса Ω_2 ,

$$T = \frac{1}{2} \frac{N!}{(N-2)!} = \frac{N(N-1)}{2}. \quad (5)$$

Разделяющая функция с заданной вероятностью отделяет подмножество точек векторного пространства признаков, соответствующее модели одного класса Ω_2 объектов в случае статистической однородности качественных характеристик сортируемых объектов. При пересечении границ областей D_1, D_2, \dots, D_m , соответствующих классам $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_m$ сортируемых объектов, для оптимального по минимуму ошибок классификации, разделения признакового пространства на подмножества, соответствующие классам сортируемых объ-

ектов, возникает необходимость введения в решающее правило еще одной нелинейной функции вида (4), получаемой согласно используемых в теории распознавания критериев (критерий Байеса, Неймана-Пирсона).

Таким образом при сортировке пищевых продуктов по цвету, степени зрелости и форме, когда для описания объектов используются безразмерные признаки, приходим к существенно нелинейным стохастическим моделям классов. Такие модели могут быть получены путем определения статистических характеристик распределения значений признаков по объектам обучающей выборки.

При необходимости сортировки пищевых продуктов по типовым размерам (длине, диаметру, толщине) получаем линейную модель класса (I).

Предложенный анализ информативности или разделительных свойств автоматически контролируемых параметров сортируемых объектов и признаков позволяет определить оптимальные подпространства признаков для разных пар классов. Отсутствие подобных исследований приводит к тому, что в современных сортировочных машинах и автоматах используется большое число разнообразных фиксированных параметров, объектов для автоматической классификации последних. Это ограничивает функциональные возможности системы управления в условиях изменения состава и свойств сортируемых объектов. Для оценки информативности признаков X_1, X_2, \dots, X_N предложен алгоритм, основанный на численной оценке меры близости объектов одного класса Ω_2

$$S_t(\Omega_2) = \sqrt{\frac{1}{m_2} \frac{1}{m_2-1} \sum_{k=1}^{m_2} \sum_{l=1}^{m_2} \sum_{i=1}^N \lambda_{li} [x_{ki}^{(2)} - x_{li}^{(2)}]^2}, \quad (6)$$

где $S_t(\Omega_2)$ - среднеквадратичный разброс объектов класса Ω_2 ;

$x_{ki}^{(2)}, x_{li}^{(2)}$ - значения i -го признака для k -го и l -го объектов обучающей выборки, принадлежащих классу Ω_2 ;

N - общее число признаков;

m_z - общее число объектов класса Ω_z в обучающей выборке ;

$[\lambda_{ti}]$ - N -мерный вектор, компоненты которого принимают значения

$$\lambda_{ti} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} ;$$

$k = 1, 2, \dots, m_z$; $l = 1, 2, \dots, m_z$; $i = 1, 2, \dots, N$; $t = 1, 2, \dots, T$.

Соответственно, для объектов разных классов Ω_p и Ω_q

$$R_t(\Omega_p, \Omega_q) = \sqrt{\frac{1}{m_p} \frac{1}{m_q} \sum_{k=1}^{m_p} \sum_{l=1}^{m_q} \sum_{i=1}^N \lambda_{li} [x_{ki}^{(2)} - x_{li}^{(2)}]^2}, \quad (7)$$

где $R_t(\Omega_p, \Omega_q)$ - среднеквадратичный разброс объектов классов Ω_p и Ω_q ($p \neq q$).

Если в выражении (6) $z = p, q$, то значения функции Δ_t , характеризующей информативность признаков

априорного словаря, получим

$$\Delta_t = \begin{cases} 0, & \text{при } R_t(\Omega_p, \Omega_q) > S_t(\Omega_z) \\ R_t(\Omega_p, \Omega_q) - \frac{S_t(\Omega_p) + S_t(\Omega_q)}{2}, & \text{при } R_t(\Omega_p, \Omega_q) \leq S_t(\Omega_z) \end{cases} \quad (8)$$

Оптимальное подпространство признаков для классов Ω_p и Ω_q определяется посредством вычисления весовых коэффициентов

$$\alpha_t^{(p,q)} = \frac{\Delta_t}{\Psi}, \quad (9)$$

где $\alpha^{(p,q)}$ - весовые коэффициенты, а через Ψ обозначено экстремальное значение функции

$$\Psi = \max \Delta_t. \quad (10)$$

Если вектор $\bar{\lambda}$ задан диагональной матрицей, то из выражения (9) получим весовые коэффициенты α_t , характеризующие информативность каждого из признаков априорного словаря. В результате из априорного словаря признаков x_1, x_2, \dots, x_N формируют рабочий словарь $\alpha_1 x_1, \alpha_2 x_2, \dots, \alpha_n x_n$, где $n < N$, если для некоторого t ($t = 1, 2, \dots, N$) выполняется условие $\alpha_t = 0$.

Использование метода кусочно-линейной аппроксимации решающих функций для автоматической классификации штучных пищевых продуктов позволяет свести задачу автоматизации управления процессом к определению линейной системы. Каждую пару классов сортируемых объектов в этом случае можно разделить при помощи набора линейных

относительно признаков x_1, x_2, \dots, x_n функций:

$$\begin{aligned} f_1(\bar{x}) &= a_{10} + a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \\ f_2(\bar{x}) &= a_{20} + a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \\ &\vdots \\ f_s(\bar{x}) &= a_{s0} + a_{s1}x_1 + a_{s2}x_2 + \dots + a_{sn}x_n \end{aligned} \quad (II)$$

где $f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_s(\bar{x})$ - разделяющие функции,
 $a_{10}, a_{11}, \dots, a_{sn}$ - константы для каждой пары классов, к определению которых сводится задача оптимального управления процессом.

Для определения значений элементов прямоугольной матрицы

$$\begin{vmatrix} a_{10} & a_{11} & \dots & a_{1n} \\ a_{20} & a_{21} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{s0} & a_{s1} & \dots & a_{sn} \end{vmatrix} \quad (I2)$$

используются распределения численных значений признаков по объектам обучающей выборки. В работе доказано, что используемые в современных автоматах для сортировки штучных пищевых продуктов решающие правила (I), основанные на сравнении численных значений признаков с эталоном, являются частным случаем метода кусочно-линейной аппроксимации решающих функций, когда в каждой строке матрицы (I2) имеется не более двух отличных от нуля элементов, а число S строк определяется $S = 2N$.

Кусочно-линейная аппроксимация решающих функций в совокупности с анализом информативности признаков, когда для каждой пары классов определяется свое подпространство признаков, позволяет с помощью методов линейного программирования или дискриминантного анализа получить квазиоптимальную по минимуму ошибок классификации систему управления сортировкой штучных объектов.

Для автоматической классификации объектов от разделяющих функций (II) осуществляется переход к вспомогательным бинарным функциям:

$$b_j^{(z)} = \begin{cases} 1, & \text{при } f_j(\bar{x}) \geq 0 \\ 0, & \text{при } f_j(\bar{x}) < 0 \end{cases} \quad (I4)$$

где $b_j^{(z)}$ - логическая функция, $j = 1, 2, \dots, s$, $z = 1, 2, \dots, m$.

При необходимости сортировки штучных пищевых продуктов по типовым размерам также осуществляется переход к вспомогательным бинарным функциям:

$$d_i^{(z)} = \begin{cases} 1 & \text{при } C_1^{(z)} \geq x_i \geq C_2^{(z)} \\ 0 & \text{при } x_i > C_1^{(z)}, x_i < C_2^{(z)} \end{cases} \quad (15)$$

где $d_i^{(z)}$ - вспомогательная бинарная функция, $i = 1, 2, \dots, p$.

Тогда искомое решающее правило получим

$$F^{(z)}(\bar{x}) = \prod_{j=1}^s b_j^{(z)} \prod_{i=1}^p d_i^{(z)} \quad (16)$$

где $F^{(z)}(\bar{x})$ - решающая функция, значения которой являются определяющим фактором при синтезе программы управления адаптивным роботом для сортировки штучных пищевых продуктов.

В третьей главе дается обоснование выбора структуры адаптивной системы управления процессом сортировки штучных пищевых продуктов, которую предложено строить по двухуровневой иерархической схеме с общей информационно-измерительной системой. Контур автоматического управления технологическим роботом, как исполнительным механизмом образует система нижнего уровня, представляющая собой локальную автоматическую систему. Такая система базируется на информационно-измерительной системе и системе автоматической классификации сортируемых объектов, работающих в реальном масштабе времени с системой подачи сортируемых объектов и обеспечивающей полную загрузку последующего технологического оборудования. В своем составе локальная автоматическая система нижнего уровня содержит блок вычисления разделяющих или дискриминантных функций, на вход которого в рабочем режиме поступает информация от информационно-измерительной системы, блок сравнения, блок памяти и блок управления исполнительными механизмами робота. На верхнем уровне иерархической схемы размещается ЭВМ, образующая с информационно-измерительной системой контур адаптации и оптимизации. Подсистема сортировки в составе АСУТП при этом должна включать ма-

тематическое обеспечение для оценки информативности автоматически контролируемых параметров, выбора подпространства признаков и математическое обеспечение для определения значений элементов матрицы (I2), определяющих параметры настройки линейного классификатора. Сбор и регистрация информации о распределениях численных значений признаков и параметров по объектам обучающей выборки и обработка этой информации может быть реализована как в оперативном режиме, так и с помощью специальной управляющей программы.

В работе дано обоснование использования сканирующего фотоэлектрического чувствительного элемента, формирующего двумерные изображения сортируемых объектов, в качестве датчика локальной автоматической системы управления процессом сортировки штучных пищевых продуктов по форме, типовым размерам и цвету. При формировании фотоэлектрическим датчиком двумерных изображений объектов, используемых для автоматической классификации, необходима нормализация контраста электронных изображений. Нормализацию контраста электронных изображений, состоящую в стабилизации электрического контраста изображений при различных уровнях освещенности анализируемых сцен, предложено осуществлять при помощи автоматической системы регулирования с переменной структурой. Такая АСР представляет собой по сути дела нелинейный градационный корректор, осуществляющий последовательно нормирование одного из уровней видеосигнала и нормирование контраста изображений. Переключающая функция y формируется для АСР с переменной структурой согласно алгоритма:

$$y = \begin{cases} M, & \text{при } \frac{U_{об\ min}}{U_3\ min} \geq 1 \\ V, & \text{при } \frac{U_{об\ min}}{U_3\ min} < 1 \end{cases} \quad (I7)$$

где $U_{об\ min}$ - минимальное значение видеосигнала, соответствующего изображению объекта с нормированным уровнем "белого",

U_{3min} - задание, μ, V - структуры регулятора.

Для сжатия описания в изображениях сортируемых объектов разработан пространственный логический фильтр, работающий в реальном масштабе времени с телевизионным датчиком и обеспечивающий сжатие информации методом "скелетирования". Пространственная фильтрация цифровых двумерных изображений осуществляется при помощи крестообразной сканирующей апертуры. Если локальный участок цифрового двухградационного изображения объекта размером 3×3 элемента разложения представлен

$$\begin{array}{ccc} U_{i-1j-1} & U_{i-1j} & U_{i-1j+1} \\ U_{ij-1} & U_{ij} & U_{ij+1} \\ U_{i+1j-1} & U_{i+1j} & U_{i+1j+1} \end{array} \quad (18)$$

где $U_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$, $i = 1, 2, \dots, J$, $j = 1, 2, \dots, G$

G - количество элементов разложения в одной строке,

J - число строк цифрового двухградационного изображения, то вертикальную составляющую сканирующей крестообразной апертуры образуют элементы U_{i-1j} , U_{ij} , U_{i+1j} и соответственно горизонтальную составляющую - элементы U_{ij-1} , U_{ij} , U_{ij+1} . Алгоритм функционирования пространственного фильтра для сжатия описания на базе сканирующей апертуры можно представить в виде логической функции:

$$\begin{aligned} W_{ij} = & U_{ij} [\bar{U}_{ij-1} \bar{U}_{ij+1} + \bar{U}_{i-1j} \bar{U}_{i+1j} + U_{ij-1} \bar{U}_{ij-2} \bar{U}_{ij+1} + U_{i-1j} \bar{U}_{i-2j} \bar{U}_{i+1j} + \\ & + U_{ij-1} U_{ij+1} (\bar{U}_{ij-2} \bar{U}_{ij+2} + U_{ij-2} \bar{U}_{ij-3} \bar{U}_{ij+2}) + U_{i-1j} U_{i+1j} (\bar{U}_{i-2j} \bar{U}_{i+2j} + \\ & + U_{i-2j} \bar{U}_{i-3j} \bar{U}_{i+2j}) + \dots + U_{ij-p} U_{ij-p+1} \dots U_{ij-1} U_{ij+1} U_{ij+2} \dots U_{ij+p} + \\ & + U_{i-pj} U_{i-p+1j} \dots U_{i-1j} U_{i+1j} U_{i+2j} \dots U_{i+pj}], \end{aligned} \quad (19)$$

где W_{ij} - выходной сигнал пространственного фильтра, $p = \frac{q+1}{2}$, где q - число элементов разложения, охватываемых каждой составляющей сканирующей крестообразной апертуры, а $2p$ - число последовательно соединенных линий задержки видеосигнала, необходимых

для реализации сканирующей крестообразной апертуры. Конструктивно используемая сканирующая апертура строилась на цифровых линиях задержки. Техническая реализация пространственного фильтра при $q = 2I$ была осуществлена в виде макета для обработки цифровых двухградационных изображений в стандарте разложения 208 строк, 192 элемента разложения в строке. В работе приводятся результаты экспериментальных исследований, проведенных на лабораторной установке, содержащей теледиапроектор, прямой и обратный преобразователь стандарта разложения, видеоконтрольное устройство типа ВК-250 и генератор служебных сигналов. Результаты экспериментальных исследований показали возможность сжатия описания методом "скелетирования" при помощи описанного фильтра в реальном масштабе времени, когда посредством фильтрации двумерных изображений выделялись точки симметрии двух ортогональных сечений изображения объекта.

Для автоматического определения параметров и признаков сортируемых объектов по их двумерным изображениям разработана информационно-измерительная система на сканисторе, реализованная по схеме специализированного микропроцессорного устройства.

В локальную автоматическую систему управления технологическим роботом предложено ввести линейный дискриминатор, функционально состоящий из блоков умножения признаков на коэффициенты (12) и сумматоров, суммирующих полученные произведения. Конструктивно линейный дискриминатор выполняется в виде матричного микропроцессорного устройства, когда каждым из элементов матричного процессора вычисляются произведения $a_{11} x_1, a_{12} x_2, \dots, a_{sn} x_n$. Затем в полуавтономном режиме осуществляется суммирование, при котором последовательно определяются частные суммы вида:

$$(a_{10} + a_{11} x_1), (a_{10} + a_{11} x_1 + a_{12} x_2), (a_{10} + a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + a_{13} x_3) \dots \quad (20)$$

что в результате обеспечивает вычисление функций (II).

Таким образом, при описанном построении локальной автомати-

ческой системы управления технологическим роботом в контуре управления реализуется конвейерная обработка информации, что существенно повышает быстродействие системы в целом.

В четвертой главе рассмотрены вопросы математического обеспечения контура адаптации и оптимизации в плане построения подсистемы сортировки в условиях АСУ. Математическое обеспечение подсистемы сортировки базируется на описанном алгоритме оценки информативности автоматически контролируемых параметров объектов и дискриминантном анализе или симплексном алгоритме, последние из которых имеются в математическом обеспечении ЕС ЭВМ.

Для определения оптимальной системы управления сортировкой штучных объектов при использовании двумерных изображений выполнены экспериментальные исследования расчетного вида пищевых продуктов. Для исследования были выбраны два основных промысловых вида рыб: океаническая ставрида и скумбрия, как объекты наиболее близкие по форме. Обучающая выборка содержала по 44 экземпляра каждого вида рыб. Были проведены исследования информативности безразмерных признаков, представляющих собой морфометрические соотношения рыб:

$$x_1 = \frac{H_{min}}{L}, x_2 = \frac{l_{Hmax}}{L}, x_3 = \frac{H_{max}}{l_{Hmax}}, x_4 = \frac{H_{min}}{H_{max}}, x_5 = \frac{l_{Hmin}}{L}, x_6 = \frac{H_{max} + H_{min}}{l_{Hmin}} \quad (2I)$$

где H_{max} , H_{min} - наибольшая и наименьшая высота тушки рыб,

L - зоологическая длина, l_{Hmax} , l_{Hmin} - длина от вершины рыла до сечения соответственно с наибольшей и наименьшей высотой.

Результаты анализа информативности признаков (2I) приведены на рисунке в виде графиков значений функций (6) и (7) для всех сочетаний признаков. Определено оптимальное подпространство признаков для автоматической классификации исследуемых объектов:

$d_1 = 0,08$; $d_2 = 0,15$; $d_3 = 1$; $d_4 = 0$; $d_5 = 0,35$; $d_6 = 0,28$, а также параметры настройки линейного дискриминатора

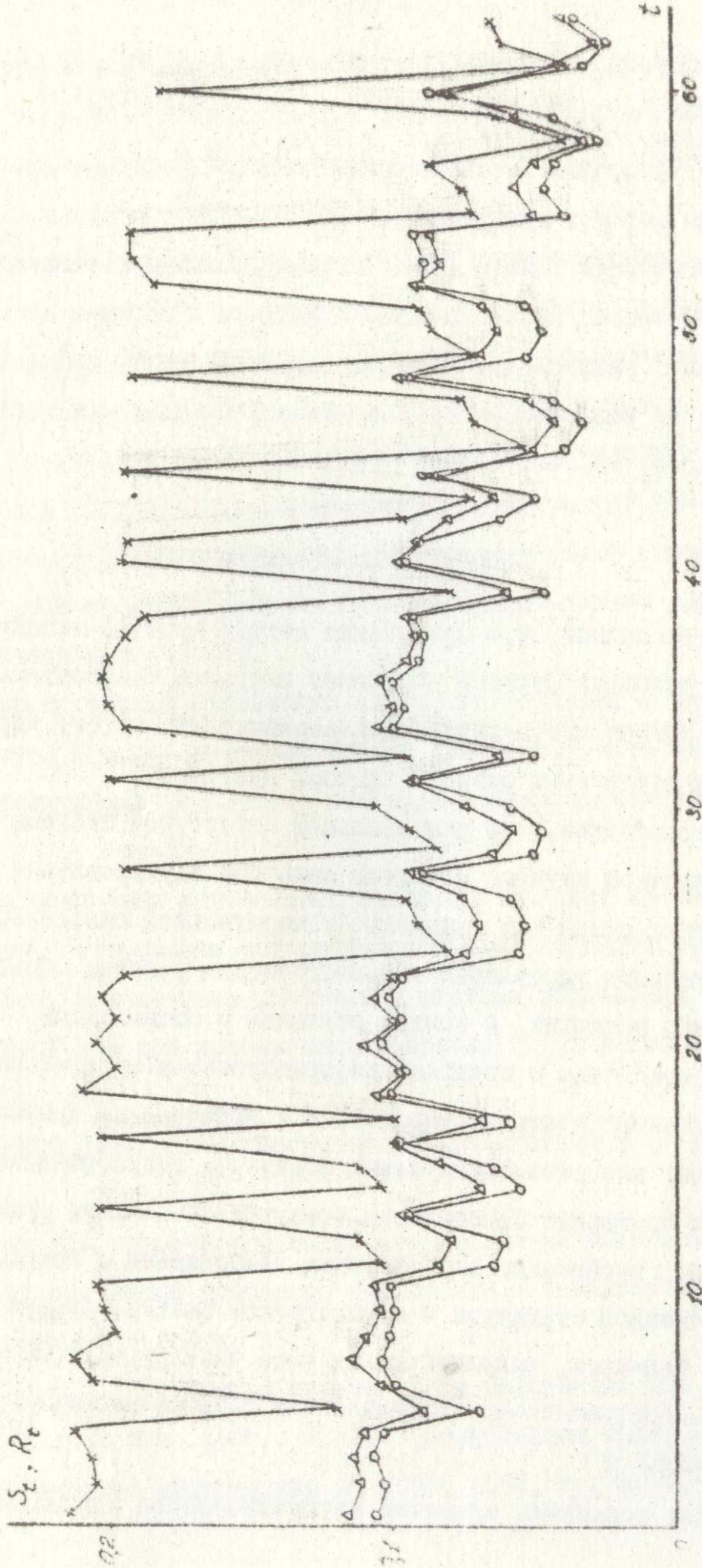


Рис. Оценка информативности признаков сортируемых объектов: \times - значения функции $R_t(\Omega_p, \Omega_q)$; Δ - значения функции $S_t(\Omega_p)$; \circ - значения функции $S_t(\Omega_q)$.

$\alpha_{10} = -14573$, $\alpha_{11} = -161671$, $\alpha_{12} = 10929$, $\alpha_{13} = 7294$, $\alpha_{14} = -24361$, $\alpha_{15} = 35854$,
 $\alpha_{16} = 98708$, $\alpha_{20} = -14624$, $\alpha_{21} = -163436$, $\alpha_{22} = 11003$, $\alpha_{23} = 7419$, $\alpha_{24} = -24663$,
 $\alpha_{25} = 35871$, $\alpha_{26} = 99888$

Параметры настройки системы автоматической классификации были определены методом дискриминантного анализа с использованием прикладных программ пакета *SSP*. Автоматическая классификация объектов по наибольшей дискриминантной функции (22) была произведена безошибочно. Минимальное значение вероятности P_L правильной классификации по наибольшей дискриминантной функции как исключение составляло $P_L = 0,769$.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Установлено, что применение метода кусочно-линейной аппроксимации решающих функций позволяет получить квазиоптимальную по минимуму ошибок автоматической классификации систему управления процессом сортировки штучных пищевых продуктов.

2. Установлено, что рациональной структурой системы управления сортировкой штучных объектов является двухуровневая иерархическая схема с общей информационно-измерительной системой. Контур автоматического управления технологическим роботом образует нижний уровень иерархии, а контур обучения и оптимизации - верхний.

3. Разработана и внедрена информационно-измерительная система автоматического контроля параметров и определения признаков, характеризующих качество сортируемых объектов. Разработанная система формирует двумерные изображения объектов, используя сканирующий фотодатчик, производит нормализацию изображений с помощью регулятора переменной структуры и осуществляет сжатие описания пространственным фильтром, выполненным на базе сканирующей крестообразной апертуры. Информационно-измерительная система выполнена на уровне изобретения.

4. Для повышения качества автоматического управления процес-

сом сортировки штучных объектов предложена адаптивная система управления технологическим роботом, использующая подстраиваемые модели классов сортируемых объектов и выполненная на уровне изобретения.

5. Показано, что наличие автономных специализированных микропроцессорных устройств в составе информационно-измерительной системы и системы автоматической классификации обеспечивает ковейерную обработку информации в реальном масштабе времени.

6. В результате выполненных исследований обоснована необходимость выбора оптимального подпространства признаков для каждой пары классов и формирования стохастических моделей классов сортируемых объектов при обучении и оптимизации системы управления технологическим процессом.

Для практической реализации алгоритма обучения и оптимизации используются методы численной оценки информативности автоматически контролируемых параметров объектов и дискриминантного анализа.

7. На основании выполненных экспериментальных исследований установлено, что задача автоматической классификации рыб по видам решается применением адаптивной системы управления технологическим процессом при использовании признаков, характеризующих форму объектов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Ковалев Е.Л. Кусочно-линейная аппроксимация решающих функций при автоматизации процессов сортировки. — Механизация и автоматизация управления, 1979, № 2, с. 8-12.
2. Ковалев Е.Л. Уменьшение избыточности информации при автоматической сортировке рыб. — В сб.: Промышленная кибернетика, Киев: Институт кибернетики АН УССР, 1978, с. 72-77.

3. Ковалев Е.Л. Применение математических моделей классов образов для автоматического управления сортировкой пищевых продуктов.- В кн.: Сборник научных трудов. Одесса: Научно-производственное объединение "Пищепромавтоматика", 1979, вып. 18, с. 100-103.
4. Ковалев Е.Л. Информационно-измерительная система для АСУТП сортировки.- В сб.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции по состоянию, перспективам разработки и применения средств вычислительной техники для управления технологическими процессами и автоматизации научного эксперимента, Северодонецк, 4-7 сентября 1979 г. ЦНИИТЭИПСАСУ, 1979, с.31.
5. Ковалев Е.Л., Кринецкий И.И. Автоматическое распознавание видов рыб при их переработке.- В сб.: Автоматическое управление технологическими процессами в пищевой промышленности, Краснодар: Краснодарский политехнический институт, 1979, вып. 92, с. 107-113.
6. Кринецкий И.И., Ковалев Е.Л. Иерархия средств вычислительной техники в АСУ ТП сортировки.- В сб.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции по состоянию, перспективам разработки и применения средств вычислительной техники для управления технологическими процессами и автоматизации научного эксперимента, Северодонецк, 4-7 сентября 1979 г. ЦНИИТЭИПСАСУ, 1979, с. 110-111.
7. Кринецкий И.И., Ковалев Е.Л. Оптимизация алгоритмов управления процессом сортировки в АСУ ТП.- В сб.: Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции по применению математических методов и средств вычислительной техники в экологических и экономических исследованиях водной среды, Одесса, 2-4 октября 1979.
8. Кринецкий И.И., Ковалев Е.Л. Автоматизация сортировки пищевых

продуктов.— В сб.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции по проблемам кибернетики в сельскохозяйственном производстве, Одесса, 18-20 сентября 1979 г., ВНИЭСХ, 1979, с. 136-137.

9. Кринецкий И.И., Богданов Б.К., Ковалев Е.Л. Устройство для управления адаптивным роботом. А.с. 714354 (СССР).— Оpubл. в Б.И., 1980, № 5.

10. Гузеев В.С., Ковалев Е.Л., Коноводченко И.И., Пойденко С.Г. Устройство для считывания графической информации.— Положит. решение ВНИИГТЭ на выдачу а.с. по заявке № 2530539 от 22.05.78.