



**ВИРТУАЛЬНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ: КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ
НЕПРЕРЫВНЫМИ ТП**

А.А. Мусаев

(Специализированная инжиниринговая компания "Севзапмонтажавтоматика")

Рассматриваются концептуальные основы построения виртуальных анализаторов и их применения в системах мониторинга состояния непрерывных ТП. Предложена параметрическая модель управления ТП, позволяющая структурировать множество виртуальных анализаторов и определять виды их функциональности. Изучен подход к задаче построения унифицированной системы виртуального мониторинга на основе матрицы типовых виртуальных анализаторов.

**Введение. Виртуальный мониторинг:
проблема, цель, средство**

В большинстве практических случаев оперативное управление ТП осуществляется на основе использования результатов мониторинга производственной ситуации. Мониторинг, в свою очередь, реализуется путем сбора и первичной обработки данных, включающих результаты применения измерительных средств и комплексов (как правило, входящих в структуры АСУТП), а также лабораторные анализы промежуточной и товарной продукции.

К сожалению, результаты анализов, получаемые средствами заводских лабораторий, как правило, не обладают необходимым уровнем полноты и оперативности. Практический опыт работы с результатами анализов показывает, что их достоверность в некоторых случаях оказывается неудовлетворительной. Основная причина состоит в несоответствии пропускной способности и технологичности лабораторных средств анализа проб реальным потребностям современного производства.

Применение on-line анализаторов существенно повышает своевременность контроля состояния материальных потоков, однако стоимость таких приборов весьма велика (десятки и сотни тысяч долл. США), они требуют регулярного высококвалифицированного технического обслуживания и не обеспечивают достаточной полноты информационного обеспечения с точки зрения создания автоматизированных контуров оптимального управления ТП.

Отсюда возникает научно-техническая проблема повышения полноты, оперативности и достоверности информационного обеспечения технологического персонала путем создания и внедрения системы виртуального мониторинга (СВМ) ТП.

Решение данной проблемы осуществляется на основе применения *новых информационных технологий* (high tech), как правило, не требующих привлечения значительных инвестиций (по сравнению с вариантом расширения технической базы мониторинга на основе инструментальных средств).



Основная идея виртуального мониторинга состоит в получении новых знаний о текущем состоянии ТП и динамике его эволюции путем глубокой математической обработки оперативных и ретроспективных данных, полученных уже существующими контрольно-измерительными средствами (КИС).

Базовыми элементами СВМ являются *виртуальные анализаторы (ВА)*, представляющие собой программно-алгоритмические комплексы, реализующие функции углубленного оценивания текущего состояния ТП и его эволюции.

Основным назначением ВА является повышение уровня информационно-аналитического обеспечения технологического персонала и создание условий (достаточной информационной базы) для формирования оптимального управления как отдельными ТП, так и всего технологического цикла производства.

Дополнительными задачами ВА могут служить:

- информационное "дублирование" отдельных измерительных средств с целью оперативного контроля их состояния (возможных неисправностей, определение необходимости в проведении калибровки, юстировки, сверки и т. п.);
- использование в качестве вспомогательной контрольно-диагностической системы технологической установки в интересах раннего (превентивного) обнаружения возможных неисправностей.

Источники информации для виртуального анализа

ВА, в отличие от аппаратного обеспечения КИС, не содержат средств непосредственных измерений параметров ТП (датчиков, измерителей и т. п.).

Основными *источниками информации* для виртуального анализа являются:

- скрытая избыточность, содержащаяся в физико-химических измерениях существующих систем КИС и результатах работы заводской лаборатории;
- ретроспективные технологические знания, накопленные в процессе управления ТП и хранящиеся в цеховой (или заводской) БД.



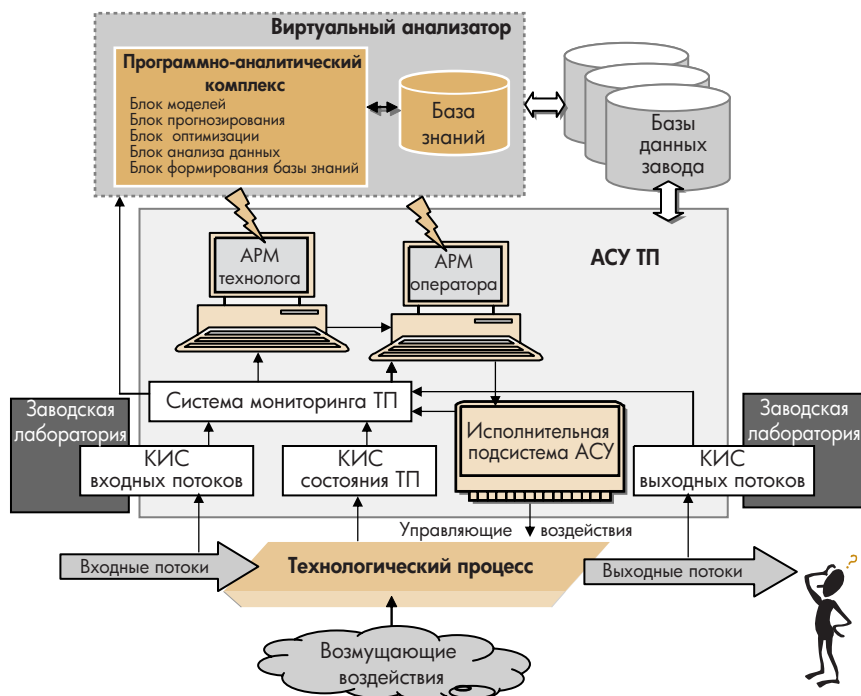


Рис. 1. Схема взаимодействия ТП, АСУТП и ВА

В первом случае дополнительная информация извлекается из исходных массивов измерительной информации благодаря наличию взаимозависимостей и связей между измеряемыми параметрами. В качестве примера можно привести ситуацию с анализами товарного топлива, когда при наличии измерений фракционного состава можно восстановить значения таких параметров, как температуры помутнения или вспышки и т. п.

Во втором случае информация формируется исходя из автоматизированного сопоставительного анализа текущих измерений со знаниями, накопленными в цеховом информационном хранилище. Сопоставление текущей динамики развития ТП с расчетными значениями, сформированными на основе начальных данных, а также с описаниями аналогичных производственных ситуаций, хранящимися в цеховых базах знаний (БЗ), позволяет получить важную информацию как с точки зрения управления ТП, так и с позиций диагностического контроля.

Место виртуальных анализаторов в АСУТП

Условная схема взаимодействия ВА с типовой АСУТП представлена на рис. 1.

ВА может либо входить в состав АСУТП (например, в составе системы поддержки принятия решений (СППР)), либо существовать самостоятельно, в форме некоторой интеллектуальной надстройки контура управления. Как правило, ВА представляет собой программно-алгоритмический комплекс, позволяющий восстановить необходимые сведения по имеющимся данным, идентифицировать скрытую динамику протекающих процессов и визуализировать ее на экране дисплеев дежурной смены. Следовательно, он может быть реализован на любом сетевом компьютере, имеющем доступ к результатам мониторинга состояния ТП, к данным, формируемым on-line анализаторами и к результатам лабораторных анализов материальных потоков.

Таблица 1

Основные функциональности	Частные задачи виртуального анализа
Оперативное управление ТП	<ul style="list-style-type: none"> Прогнозирование качества выходного продукта для выбранного технологического режима; Оценка параметров входных материальных потоков и коррекция требований к ним; Формирование оптимальных технологических управлений (решений) для заданных критериев качества
Технологический анализ и исследования ТП как объекта управления	<ul style="list-style-type: none"> Выявление и корректный учет значимых взаимозависимостей технологических параметров; Поиск наиболее рациональных решений по управлению технологическим процессом для различных критериев эффективности; Поиск новых технологических режимов для различных критериев эффективности; Анализ значимости и функций влияния отдельных технологических параметров
Контроль промышленной и экологической безопасности	<ul style="list-style-type: none"> Анализ промышленной и экологической безопасности эксплуатации установки; Выявление скрытых технологических и технических угроз и своевременное оповещение о возможности их реализации; Обеспечение устойчивой и безопасной эксплуатации установки: платформа для создания превентивной системы промышленной безопасности предприятия
Контроль состояния КИС	<ul style="list-style-type: none"> Верификация контрольно-измерительной аппаратуры; Основа для построения системы гибкого планирования процессов контроля и ремонта КИС
Обучение и подготовка кадров	<ul style="list-style-type: none"> Обеспечение возможности управления технологической установкой персоналом со средним и низким уровнем квалификации; Возможность обучения технологического персонала; эффективная платформа для формирования специализированных тренажеров

При использовании интеллектуальных ВА (ИВА) дополнительным источником информации являются сведения, получаемые из БЗ. Соответствующая БЗ может быть выполнена как в форме традиционной (реляционной) БД, так и в форме информационного хранилища (Data Warehouse), обеспечивающего накопление технологического опыта в многомерном формате данных. Возможны комбинированные варианты ее построения, например, на основе использования многомерной тематической витрины данных (Data Mart), сформированной в виде приложения над реляционной БД [1, 2].

Основные функциональности ВА, а также отвечающие им частные задачи, приведены в табл. 1.

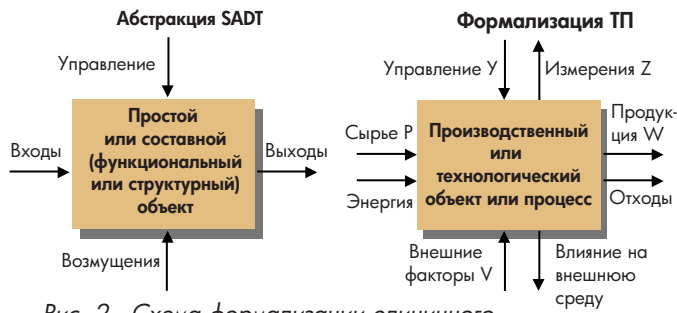


Рис. 2. Схема формализации единичного объекта диаграммы структурной модели

Важнейшими из перечисленных функций являются вопросы информационного обеспечения оперативного управления ТП и аналитическая поддержка технологических исследований, протекающих в установках процессов.

Параметрическая модель объекта виртуального мониторинга

В основе функционирования ВА, как элемента системы мониторинга ТП, лежит математическая модель, отражающая взаимосвязь входных/выходных параметров ТП.

В качестве исходной структуры для анализа ТП используется традиционная кибернетическая модель "черного ящика". В соответствии с методологией SADT (Structured Analysis and Design Technique), используемой для формирования и представления структурных моделей, "черный ящик" ТП будет иметь вид, представленный на рис. 2.

Традиционное для кибернетики описание изучаемого объекта *O* задается в виде триады множеств

$$O = \langle U, X, Y \rangle,$$

где $U = \{p_1, p_2, \dots, p_\alpha, y_1, y_2, \dots, y_\chi, v_1, v_2, \dots, v_\beta\}$ – множество входных воздействий, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ – множество состояний ТП, $Y = \{z_1, z_2, \dots, z_\delta, w_1, w_2, \dots, w_\gamma\}$ – множество выходных процессов (информационных $\{z\}$ и материальных $\{w\}$).

В задачах анализа и оптимизации управления ТП важнейшую роль играет именно структура системы. В связи с этим, обобщенная модель объекта управления усложняется и приобретает вид $O = \langle A, R, U, X, Y, G \rangle$, где *A* – множество элементов системы; *R* – матрица отношений между элементами системы, заданными на *A*; *G* – матрица отношений между множествами *A* и *X* (отношения эмерджентности). Составляющая

часть системы называется ее структурой, а $\{U, X, Y\}$ – программой функционирования. Таким образом, система представляет собой объединение этих двух составляющих, а ее единство определяется отношением эмерджентности *G*.

В задачах, связанных с анализом непрерывных производств, множество входных процессов *U* разделяется на вектор параметров входных материальных (сырьевых) и энергетических потоков $P = \{p_1, p_2, \dots, p_\alpha\}$, множество управляющих воздействий (собственно управлений) $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_\chi\}$ и вектор возмущающих воздействий со стороны среды взаимодействия $V = \{v_1, v_2, \dots, v_\beta\}$. Множество выходных процессов *Y* состоит из множества измерений (наблюдений) $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_\delta\}$, используемых для оценки текущего состояния ТП и формирования управляющих решений *D*, и множества выходных продуктов $W = \{w_1, w_2, \dots, w_\gamma\}$.

Структуризация основных задач

Представленные структурные и параметрические модели позволяют сделать вывод о том, что в основе решения функциональных задач средствами ВА (табл. 1), должна лежать математическая модель, отображающая взаимосвязи между качественными и количественными показателями выходной продукции ТП $W(t)$, характеристиками входных материальных потоков $P(t)$ и управлением $U(t)$, выраженным через параметры состояния *технологической установки* (ТУ) $X(t)$. По существу, данная модель должна представлять собой некоторое многомерное отображение $F(U, X, Y)$, заданное в виде системы взаимосвязанных (в общем случае, нелинейных) уравнений. Решение данной системы уравнений по отношению к отдельным ее составляющим позволит обеспечить выполнение основных задач ВА, а именно:

- прогнозирование качества выходной продукции ТП по результатам анализа сырьевых потоков и выбранному управлению (технологическому режиму);
- определение требуемого технологического режима по результатам анализа сырьевых потоков и заданному (желаемому) качеству выходной продукции;
- определение требований к качеству сырья, исходя из заданного (желаемого) качества выходной продукции и типовых параметров технологической установки.

На рис. 3 перечисленные задачи представлены в виде векторных схем.

NB! Следует заметить, что класс задач "Управление", строго говоря, не является функциональностью ВА. Виртуальные анализаторы лишь создают информационную платформу для формирования оптимального управления. Решение задач управления осуществляется средства-

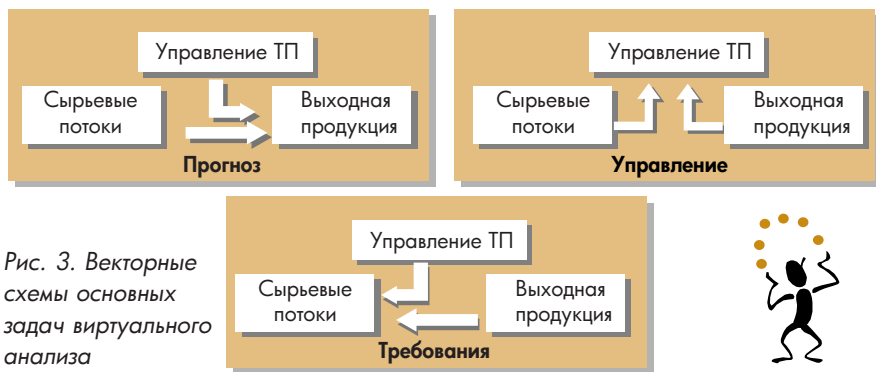


Рис. 3. Векторные схемы основных задач виртуального анализа



ми автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР или *decision support systems*, DSS). В этом случае ВА выступают в качестве информационной подсистемы DSS.

Математический арсенал виртуального анализа

Структуризация основных задач, стоящих перед ВА, непосредственно определяет математическое ядро ВА как взаимное отображение $F=F(U, X, Y)$. В общем случае подобное отображение представляет M -мерную гиперповерхность, параметризованную совокупностью $\langle U, X, Y \rangle$.

Структура гиперповерхности задается априори в качестве начального приближения F_0 и может итерационно уточняться. Параметрическая идентификация $F(U, X, Y)$ осуществляется путем последовательной подгонки на основе имеющейся совокупности наблюдений $\{Z\}$ за параметрами триады $\langle U, X, Y \rangle$. При этом предполагается наличие некоторой модели наблюдений $Z=Z(U, X, Y; V)$, связывающей указанные параметры.

Наличие ситуационной неопределенности V , обусловленной влиянием неучтенных систематических возмущений и случайных погрешностей измерений, приводит к ошибкам моделирования $\delta F = F(U, X, Y) - F^*(\tilde{U}, \tilde{X}, \tilde{Y})$, где $F^*(\tilde{U}, \tilde{X}, \tilde{Y})$ – оценка F , полученная по результатам наблюдений.

Таким образом, математический арсенал ВА представляет собой совокупность методов и алгоритмов, ориентированных на задачи восстановления многомерных отображений F по результатам наблюдений Z в условиях неопределенности. Некоторые, наиболее употребляемые математические технологии, используемые при разработке ВА, приведены на рис. 4.

Заметим, что оптимизационные технологии синтеза ВА могут осуществляться достаточно широким классом математических методов, включающих как традиционные статистические методы (многомерная регрессия, сплайны), так и относительно новые инструменты работы с данными в условиях неопределенности. В частности, методы нечеткой логики позволяют выйти за пределы метрических систем обработки данных.

Дальнейшее развитие математического арсенала связано с методами искусственного интеллекта (БЗ, прецедентный анализ, автоматизированные экспертные системы и др.) и ведет к созданию класса ИВА. Особенное внимание уделяется новейшим компьютерным технологиям, связанным с парадигмой интеллектуального анализа данных (или *Data Mining*), включающим нейросетевые, генетические, эволюционные и другие методы исследований.

Матрица виртуальных анализаторов

При разработке ВА крайне сложно заранее определить наиболее рациональную математическую платформу, обеспечивающую возможность синтеза

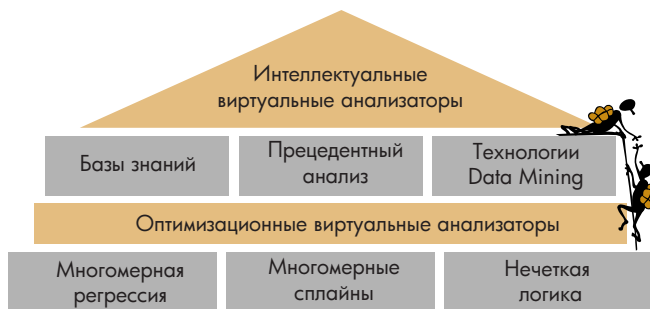


Рис. 4. Математический инструментарий

эффективно функционирующей системы анализа ТП. Выбор математического ядра ВА связан с используемой измерительной аппаратурой, специфической реализацией ТП, его управлением, статистической и динамической структурами исходных данных, характером неопределенности и другими, заранее неизвестными факторами. В связи с этим целесообразно построить матрицу виртуальных анализаторов, элементами которой являются ВА типовых ТП, построенные на различных математических ядрах (рис. 5).

Заметим, что типовые ВА, входящие в матрицу, целесообразно строить для некоторого базового набора ТП. Это связано с тем, что сложные ТП, как правило, состоят из набора повторяющихся для разных задач типовых процессов. В качестве примера можно указать ТП бензольного реформинга, состоящий их достаточно типичных для нефтепереработки процессов гидроочистки, реформинга, экстракции и ректификации.

DSS-матрица

ВА существенно расширяют возможности мониторинга ТП. Однако это не всегда оказывается достаточным для оптимизации управления, т.к. требуется реализация ряда дополнительных функций. Важнейшей из них является поиск оптимального управления $U^* = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}^*$, обеспечивающего достижение экстремального значения выбранного показателя качества $\Psi[U, X, Y] = \text{extr}\{U\}$ при условии выполнения множества линейных и нелинейных ограничений. Расширение функциональности ВА на задачи управления приводит к классу DSS-систем

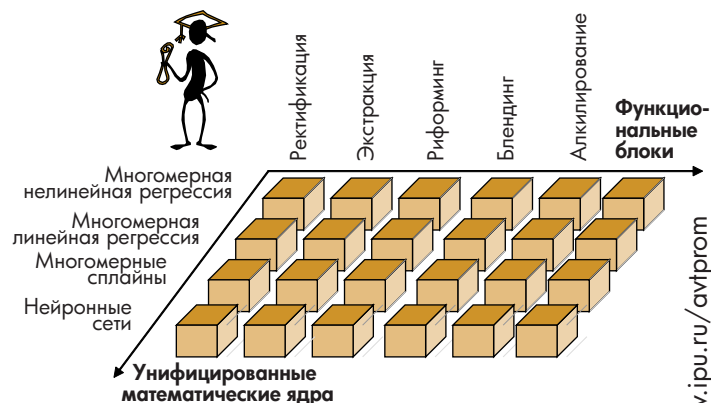


Рис. 5. Функциональная матрица виртуальных анализаторов

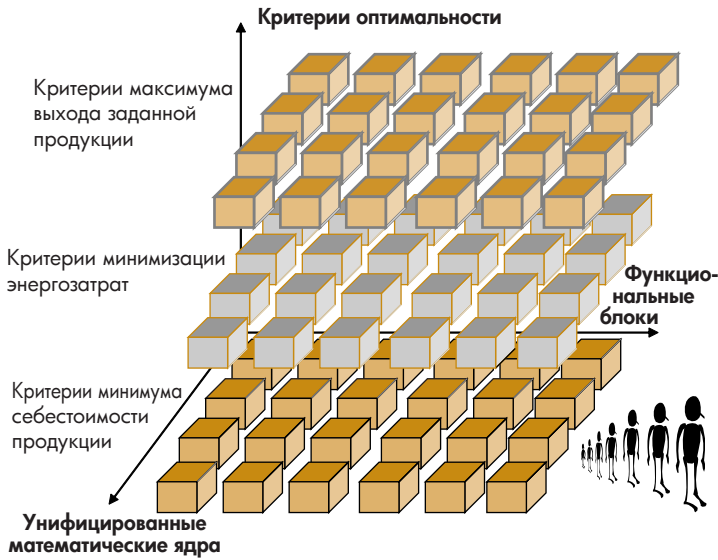


Рис. 6. Функциональная DSS-матрица

(систем поддержки принятия решений). При этом матрица ВА, представленная на рис. 6, преобразуется в трехмерную функциональную структуру (кубическую матрицу), элементами которой являются варианты построения DSS для различных критериев оптимальности и ТП.

Пример использования ВА для восстановления ненаблюдаемых параметров дизельного топлива (ДТ)

В процессе приготовления ДТ качество выпускаемой товарной продукции оценивалось вектором физико-химических параметров $Q_j = \{q_i, i=1, \dots, m\}$, где j – номер сеанса компаундирования. В процессе смешения осуществляется наблюдение (с помощью лабораторных анализов и on-line анализаторами) лишь за частью параметров $Q = Q_1 \cup Q_2$, причем $Q_1 \cap Q_2 = \emptyset$, где $Q_{1<1; q>}$ – множество наблюдаемых параметров, $Q_{2<1; r>}$ – множество ненаблюдаемых параметров, $r + q = m$.

Требуется восстановить средствами ВА значения ненаблюдаемых параметров $Q_2 = f(Q_1)$.

Решение задачи отыскивалось в рамках предположения о сохраняемости условий проведения сеансов компаундирования в течении периода обучения ВА. Иными словами, временная последовательность сеансов $Q_{<n; m>} = \{q_{kj}\} = [Q_1, Q_2, \dots, Q_n]$ считается стационарной. Здесь q_{kj} – результат измерения j -го показателя качества ДТ в k -ом сеансе ТП.

В силу разнородности исходных данных, характеризующих различную размерностью, целесообразно перейти к нормированным данным, т. е. $Q^0 = Q(S^0)^{-1}$, где $S_0 = \text{diag}\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ – диагональная матрица, составленная из среднеквадратических отклонений (ско) параметров топлива. Обратное, $Q = Q_0 S_0$.

Обучение ВА сводится к параметризации вектора математического ожидания и ковариационной матрицы $PQ = \text{cov}\{Y_0\}$, структуризованных в блочном виде, т. е. $E\{Q_0\} = [E_0^1; E_0^2]^T$,

$$P(X) = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}, \text{ где } P_{11} = \text{cov}\{Q_0^1\}, P_{22} = \text{cov}\{Q_0^2\}, \\ P_{12} = P_{21}^T = \text{cov}\{Q_0^1, Q_0^2\}.$$

Соответствующая плотность совместного распределения наблюдаемых и ненаблюдаемых параметров выпускаемой продукции может быть записана в виде [3]:

$$f(Q^0) = \varphi(Q^0; E\{Q^0\}, P(Q)) = \varphi(Q^0; E_0^1, P_{11}) (Q_0^2; E_0^2 + P_{21} P_{11}^{-1} (Q_0^1 - E_0^1), P_{22} - P_{21} P_{11}^{-1} P_{12}).$$

Отсюда оценка вектора ненаблюдаемых параметров имеет вид $\tilde{x}_2^0 = E_0^2 + P_{21} P_{11}^{-1} (Q_0^1 - E_0^1)$.

Соответствующая ей ковариационная матрица определяется выражением $\text{Cov}(\tilde{x}_2^0) = P_{22} - P_{21} P_{11}^{-1} P_{12}$.

Таким образом, алгоритм работы данного ВА состоит из двух стадий. На первой стадии осуществляется предварительная обработка данных и обучение ВА, на основании которых производится оценка E_0^1, E_0^2, R_{12} . На второй стадии реализуется решение основной задачи – восстановление ненаблюдаемых параметров приготавливаемого топлива. При этом на каждом сеансе восстановления данных P_{12} перегруппируется: строки и столбцы, соответствующие наблюдаемым признакам, собираются в верхний левый угол матрицы, ненаблюдаемым – в нижний правый. Далее, в соответствии с приведенными уравнениями, вычисляются искомые оценки и их ско. В заключение осуществляется обратный переход $Q = Q_0 \cdot S_0$ к исходным размерностям оцениваемых величин.

Для иллюстрации функционирования ВА рассмотрим числовой пример восстановления параметров ДТ (разработку ВА и соответствующие расчеты осуществляли сотрудники Специализированной инженеринговой компании "Севзапмонтажавтоматика"). Оценка состояния топлива велась по 11 параметрам ДТ: фракционный состав, t °C вспышки, помутнения, застывания, кинематическая вязкость и др. В табл. 2 приведены примеры ско отдельных параметров, в табл. 3 – оценки параметров ковариационной матрицы, полученные в процессе обучения ВА. Сравнение результатов восстановления искомых параметров с данными лабораторных анализов представлены в табл. 4.

Заключение

Технология ВА представляет одно из актуальных и быстро развиваемых направлений промышленных high tech. В той или иной форме, большинство крупнейших фирм, специализирующихся в области промышленной автоматизации (Honeywell, Aspin Tech, и др.), представляют свои разработки в этой области на рынке АСУ. Очевидные достоинства ВА делают их одной из наиболее эффективных форм инвестиций в развитие производства. Тем не менее, принятию решения о приобретении и развертывании ВА должен всегда предшествовать тщательный анализ требований со стороны ВА к объему и качеству исходной (обучающей) измерительной информации. Если указанных данных (формируемых традиционными инструментальными средствами) окажется недостаточно, то, как говорил король Лир, "из ничего и выйдет ничего".

Табл. 2. Ско параметров оценивания

Параметр	СКО
Нач. кипения (°С)	0,135
90% (°С)	0,595
Темп. помутнения	1,057
Кинематическая вязкость	0,867
Пред. °С фильтруемости	1,073



*Автоматизация — это попытка
упростить себе жизнь путем ее
усложнения*

А.А. Мусаев

Табл. 3. Корреляционная матрица данных эксперимента

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,00	0,81	0,55	0,64	0,55	-0,08	0,81	0,82	0,31	0,51	0,29
2	0,81	1,00	0,88	0,76	0,88	0,20	0,78	0,95	0,44	0,83	0,62
3	0,55	0,88	1,00	0,62	0,99	0,30	0,67	0,81	0,42	0,87	0,81
4	0,64	0,76	0,62	1,00	0,62	0,02	0,62	0,71	0,06	0,69	0,48
5	0,55	0,88	0,99	0,62	1,00	0,30	0,67	0,82	0,42	0,87	0,81
6	-0,09	0,21	0,31	0,03	0,31	1,00	0,05	0,10	0,22	0,39	0,41
7	0,82	0,78	0,68	0,62	0,68	0,05	1,00	0,86	0,21	0,67	0,53
8	0,83	0,95	0,82	0,71	0,82	0,10	0,86	1,00	0,44	0,82	0,64
9	0,32	0,44	0,43	0,06	0,43	0,22	0,21	0,44	1,00	0,34	0,30
10	0,51	0,83	0,87	0,69	0,87	0,39	0,67	0,82	0,34	1,00	0,30
11	0,29	0,63	0,81	0,48	0,81	0,41	0,53	0,64	0,30	0,30	1,00

Табл. 4. Результаты оценивания

	Анализ	Оценка
1	73	75,13
2	5,20	5,28
3	-8	-7,7
4	-16	-14,7
5	-8	-7,63
6	0,044	0,0452
7	206	202,8
8	229	231,28
9	267	-
10	329	329,05
11	350	-

Список литературы

1. Гершберг А.Ф., Мусаев А.А., Нозик А.А., Шерстюк Ю.М. Концептуальные основы информационной интеграции АСУ ТП нефтеперерабатывающего предприятия. СПб: Альянс-строй, 2003.
2. Мусаев А.А., Шерстюк Ю.М. Архитектурные и технологические аспекты создания аналитических информационных систем // Тр. Межд. НТК ММТТ-2000. Т.4. СПб., 2000.
3. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Исследование зависимостей // Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика, 1985.

*Мусаев Александр Азерович — д-р техн. наук, проф., научный консультант
Специализированной инжиниринговой компании "Севзапмонтажавтоматика".
Контактный телефон (812) 351-66-58. E-mail: AMusaev@szma.com*

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ

**Н.А. Туманов, Д.Н. Туманов (ОАО "Воскресенские минеральные удобрения"),
В.М. Чадаев, Н.Н. Бахтадзе (ИПУ РАН)**

Рассматривается подход к разработке ПТК для непрерывного прогнозирования показателей качества вырабатываемого продукта и управления в режиме РВ по косвенным параметрам ("виртуальных анализаторов").

Масштабное использование вычислительной техники для решения проектных и управленческих задач химической отрасли началось с 60-х годов прошлого столетия. Именно тогда впервые были разработаны и внедрены на отечественных предприятиях системы автоматизированного проектирования (САПР) в химической промышленности, а также АСУТП и АСУП.

Сегодня управление предприятиями невозможно представить без использования современных информационных технологий. Принципиально по-новому строятся производственный и управленческий учет, диспетчеризация предприятия, на основе оперативного исследования клиентских потребностей и других факторов принимаются оптимальные маркетинговые решения, на базе учета хозяйственных рисков выстраивается бизнес-стра-

тегия предприятия. В конечном счете, эффективное применение информационных технологий в системах управления предприятиями играют ключевую роль в достижении ими конкурентного преимущества в условиях современного рынка, прежде всего — за счет повышения качества выпускаемой продукции.

Решение задач управления качеством осуществляется на базе автоматизированной системы оперативного управления предприятием (АСО-УП), обеспечивающего контроль и управление производительностью цехов, сбор оперативных и статистических данных, управление себестоимостью. Рассмотрим пример разработки систем управления качеством выпускаемой продукции на ОАО "Воскресенские минеральные удобрения" (ОАО "ВМУ").

ОАО "ВМУ" представляет собой одно из крупнейших предприятий отрасли, имеющее более чем 35-летний опыт разработки, внедрения и реконструкции АСУ на технических и программных средствах нескольких поколений от "Наири", "УМ-1", "Минск-32", "М6000", "ЕС1020", "ТВСО", "СМ2М", "ВК2Р35" до современных многофункциональных контроллеров, ПК, СУБД и SCADA-систем.

Сегодня на предприятии благодаря совместным действиям специалистов ООО "ИндаСофт", ЦНИИКА и ОАО "ВМУ" создано ПО АСОУП на базе информационной системы производства PI System, функционирующей в режиме РВ. Функциональные возможности АСОУП позволяют осуществлять сбор и представление информации о состоянии ТП, оборудования, показателей качества готовой продукции в РМВ.

На следующем этапе автоматизации ТП ОАО "ВМУ" предлагается разработать *систему управления качеством выпускаемой продукции на основе виртуальных анализаторов (ВА)*. Основной целью создания системы является формирование в режиме РВ управляющих воздействий, обеспечивающих максимальное соответствие показателей качества выпускаемой продукции нормативным значениям.

Система может функционировать как в режиме советчика оператору АСУТП, так и осуществлять автоматическое управление в замкнутом контуре. Последний вариант осуществляет автоматическое управление ТП с адаптивной настройкой моделей. Разработка моделей процессов и алгоритмов управления осуществляется на основе статистической обработки значений показателей аналитического контроля и технологических параметров и состояния технологического оборудования цехов.

ПТК, предназначенные для непрерывного прогнозирования показателей качества вырабатываемого продукта и управления в режиме РВ по косвенным параметрам, получили название виртуальных анализаторов. Иногда их называют также "мягкими датчиками" или "дедуктивными вычислениями". Суть таких систем состоит в осуществлении косвенных измерений величин в тех случаях, когда проведение прямых измерений невозможно. ВА позволяют "проводить такие измерения" на основе самонастраивающихся моделей прогноза непосредственно в ходе ТП.

ВА разрабатываются как на основе технологии искусственных нейронных сетей или некоторых видов гибридных нейронных технологий (например, генетических алгоритмов), так и с использованием адаптивных алгоритмов автоматического управления. Сегодня многие производители программных пакетов усовершенствованного управления предоставляют технологии ВА в виде конфигурируемых систем относительно простых в употреблении. Боль-

шинство из них снабжены графическими пакетами для представления результатов и направления действий операторов.

ВА включает: интерфейс пользователя; библиотеку базовых моделей, описывающих взаимосвязь качественных показателей с текущими значениями измеряемых параметров ТП; библиотеку алгоритмов настройки модели (идентификатор) по данным реального функционирования; регулятор, вырабатывающий управляющие воздействия; блок аналитической обработки статистической информации (для оперативного информационного обеспечения руководства, стратегического планирования, координирования работы взаимосвязанных производств, контроля безотказной работы оборудования и т. д.).

Система управления, разработанная на базе ВА, должна обеспечивать интерактивное взаимодействие с БД текущих значений параметров ТП в цехах и состояния основного оборудования.

Внедрение в ОАО "ВМУ" PI System (системы сбора и отображения информации РВ) и наличие АСУ различными ТП создают полномасштабную информационную основу для разработки ПО виртуальных анализаторов. Так на сегодняшний день осуществлена разработка ВА в составе АСУТП для начальной стадии непрерывного ТП производства гранулированного аммофоса в цехе №2. На первом этапе разработки системы управления осуществлено:

- адаптивное динамическое моделирование с идентификатором для узла приема и смешения кислот (рис. 1);
- тестовая оценка точности модели в рабочем диапазоне изменений входных и возмущающих параметров на данных, полученных в процессе нормального функционирования объекта, т. е. проверка адекватности модели (рис. 2);
- оценка экономической эффективности внедрения подсистемы автоматического управления на базе разработанной модели.

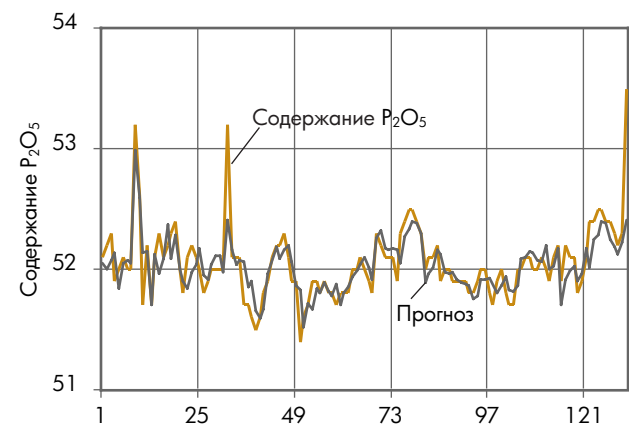


Рис. 1. Прогноз на 1 ч вперед содержания P_2O_5 в выпускаемом продукте

В то же время можно отметить, что для получения максимально точных моделей необходимо осуществить более развернутое использование информационных возможностей АСОУП. В частности, для прогноза содержания P_2O_5 в готовом продукте для линии Аммофос-2 необходимы определенные объемы данных:

- по показаниям действующих датчиков (расхода, температуры, давления, уровня);
- почасового спектрометрического измерения содержания фосфора в готовом продукте (для установки Аммофос-2, с учетом ее инерционности, не реже одного измерения в час) с точной фиксацией момента отбора пробы.

Полученный результат по выявлению корреляционных зависимостей для выходного параметра (содержание фосфора в готовом продукте) дает основания для рассмотрения следующих предложений:

1. усовершенствование моделей и алгоритмов прогноза содержания P_2O_5 в готовом продукте для линии Аммофос-2 на базе расширенной статистической информации;
2. разработка прогнозирующих моделей для грансостава;
3. разработка пользовательского интерфейса для виртуального анализатора содержания P_2O_5 в готовом продукте для линии Аммофос-2;
4. разработка и внедрение первой очереди системы управления с прогнозом для линии Аммофос-2;
5. составление перечня виртуальных анализаторов для других продуктов и полупродуктов, выпускаемых предприятием (на основании опыта, полученного при реализации пунктов 1–3);
6. разработка и внедрение системы управления запасами сырья и полуфабрикатов;
7. разработка и внедрение систем диагностики технологического оборудования в режиме нормальной эксплуатации;
8. разработка и внедрение системы управления складом запасных частей, инструмента, оснастки, вспомогательных материалов.

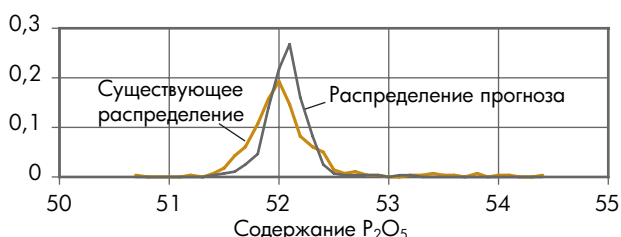


Рис.2. Прогноз плотности распределения содержания P_2O_5 в выпускаемом продукте

Туманов Николай Александрович – главный метролог ОАО "Воскресенские минеральные удобрения",

Туманов Дмитрий Николаевич – аспирант РХТУ им Д.И. Менделеева, начальник участка ЗАО "Монтажавтоматика",

Чадаев Валентин Маркович – д-р техн. наук, проф., ст. науч. сотрудник,

Бахтадзе Наталья Николаевна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник Института проблем управления РАН.

Контактные телефоны: (095)334-92-01, 334-87-59.

Предлагаемые разработки потребуют лишь установки на технологическом оборудовании ограниченного числа новых датчиков.

Для определения стратегии автоматизации ТП (как рассмотренного, так и ряда других) необходимо предварительно оценить *ожидаемый технический эффект*, на основе которого может быть оценен и *ожидаемый экономический эффект*. Только после этого можно принимать обоснованные решения о разработке конкретного виртуального анализатора ТП и о возможности на его основе дальнейшей разработки систем управления в режиме реального функционирования ТП в условиях нормальной эксплуатации.

В дальнейшем предполагается разработка *оригинальных алгоритмов ВА* для отдельных ТП. Наиболее удачные современные методы построения обучающихся нелинейных моделей – это нейронные сети (при размерности задачи свыше 10), модели типа "нечеткой логики" ("Fuzzy Logic") или непараметрические методы.

ПО предлагаемой к разработке системы должно отвечать требованиям совместимости с PI System. Поскольку поступление данных в режиме РВ осуществляется из этой информационной системы, ПО должно иметь возможность взаимодействовать с сервером PI System через язык программирования VBA или через пакеты PI-API и PI-SDK.

Виртуальный анализатор должен также иметь возможность отправлять результаты своих вычислений (прогнозы и оценки) в архив PI System в качестве специальных тегов (точек) с тем, чтобы эти прогнозы можно было просматривать с помощью таких мощных инструментов анализа данных PI System, как PI-ProcessBook и PI-DataLink.

Опытная эксплуатация и внедрение системы

Опытная эксплуатация системы должна осуществляться совместно силами разработчиков, заказчика и пользователей системы (технологов и операторов). Для проведения опытной эксплуатации составляется соответствующая программа, определяются объем и порядок проводимых испытаний и назначаются ответственные лица. При этом для повышения оперативности настройки и модификаций ПО необходимо обеспечить возможность разработчику выполнения необходимых работ через Интернет.

По итогам испытаний ВА и по завершению опытной эксплуатации специально созданная комиссия принимает решение о возможности ввода ВА в промышленную эксплуатацию.

СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ: КОНФИГУРИРОВАНИЕ ИЛИ ПРОГРАММИРОВАНИЕ?

Е.В. Егоров (Компания Эфо)

Рассматриваются преимущества и ограничения при использовании стандартных алгоритмов обработки изображений в системах технического зрения на примере продукции фирмы NAIS-Matsushita.

Проблемы обработки изображений вообще, и так называемого "машинного зрения" в частности, входят в нашей стране в печальный список отраслей, отечественное технологическое лидерство в которых безвозвратно утеряно. Перед концом советской власти существовали и научные школы, за результатами работы которых следили в мире, и прикладные разработки — еще в конце семидесятых годов прошлого века качество сборки часов "Ракета", сходящих с полностью автоматического (*так!!! — Е.Е.*) конвейера Петродворцового часового завода, контролировалось телекамерами под управлением ПТК на базе ЭВМ СМ-4 (или даже СМ-2). Сегодня, увы, все это проходит по разряду героического эпоса, и лишь малочисленные группы аскетов-пустынников хранят во тьме обесточенных за неоплату коммунальных услуг лабораторий остатки древнего знания, когда-то бывшего рутиной рабочего дня, а ныне превращенного в мистический ритуал.

Впрочем, это относится не только к обработке изображений.

Мир, однако, не стоял все это время на месте. Из относительной экзотики, которую представляло оборудование машинного зрения два десятка лет назад, оно превратилось в нечто, без чего не обходится практически ни одно уважающее себя производство. На Ганноверской выставке только список категорий экспонируемого оборудования в данной отрасли насчитывает около 80 позиций — больше, чем собирают участники иные отечественные промышленные форумы. Десятки производителей предлагают компоненты, ПО и готовые системы для решения самых разнообразных задач, от контроля дефектов материала и геометрии деталей до автоматического чтения текстовой маркировки и двумерных штрих-кодов.

Отрасль бурно развивается, и в своем развитии, как всякая электронно-вычислительная техника в последние годы, не смогла избежать гамлетовской альтернативы: "PC or not PC?". Некоторые производители считают, что магистральным путем развития систем технического зрения является максимальное использование PC-совместимой платформы, а собственно техническая специфика сводится к производству телевизионных камер со все более совершенным аппаратным интерфейсом и написанию все новых и новых библиотек для стандартных средств программирования (в основном для "C++"). Другие же, напротив, полагают, что для решения целого ряда стандартных задач достаточно простых и относительно недорогих узкоспециализированных систем, снабженных специально разработанным ПО, недостаток универсальности которых компенсируется простотой настройки и эксплуатации. Нетрудно заметить, что

противостояние намечается по той же линии, что и в разворачивающейся на наших глазах титанической борьбе между программируемыми контроллерами и SoftLogic-системами на базе PC, о которой много писалось в четвертом номере журнала. И точно так же противостояние это на самом деле мнимое, поскольку каждая из парадигм имеет свои достаточно четко очерченные области применения.

Автор настоящей публикации не является великим специалистом в области обработки изображений и не хочет высказываться по общим вопросам теории. Поэтому данный текст надлежит рассматривать просто как некоторые соображения, возникшие при изучении возможностей оборудования, поставляемого фирмой Matsushita Electric под торговой маркой NAIS. Соображения эти представляются не лишними интереса для аудитории журнала, ибо, насколько автор может судить, в российской инженерной традиции до сего момента преобладает высоконаучный подход, оборудование же NAIS-Matsushita является образцом сугубой прагматики. В изложенной выше дискуссии Matsushita однозначно занимает позицию в пользу простых типовых систем, в основном на базе специализированных PC-несовместимых процессоров.

Подход Matsushita к проблеме может быть выражен формулой "конфигурировать, а не программировать". В данном подходе от пользователя системы, осуществляющего ее внедрение на объекте, не требуется ничего, кроме осознания задачи на уровне словесной постановки и умения водить мышкой по экрану в рамках стандартных навыков. На самом деле, конечно, присутствует и математическая обработка, и реализующий ее исполняемый код. Однако труд реализации этого кода на конкретном "железе" уже взяли на себя программисты Matsushita, оставив пользователю системы просто собрать "из кубиков" последовательность действий по решению задачи с помощью системы экранных меню. Примерно так же система автоматического проектирования создает шаблоны отчетов и экранных форм в пакетах для обслуживания БД, и использующий ее проектант совершенно не обязан думать о тонкостях индексации массивов, контекстного поиска и организации перекрестных ссылок. Математическая реализация используемых стандартных алгоритмов остается "за кадром".

Разнообразие проблем, решаемых в рамках подобного подхода, на самом деле на удивление велико. Даже в простейшем случае он позволяет успешно справиться с такими задачами, как контроль наличия объекта, контроль положения, контроль формы и размера объекта, классификация объектов. Дело в том, что в подавляющем большинстве случаев эти достаточно сложные по-

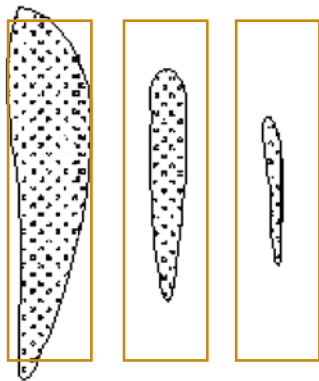


Рис. 1. Контроль нанесения клея при склейке картонной тары

нения сводятся к интуитивной проверке нескольких простейших критериев. Рассмотрим, например, такую проблему, как контроль дозирования клея при склейке картонных коробок. Можно, например, попытаться измерить площадь клевого пятна по его изображению, и, исходя из полученной цифры, констатировать недостаток или перерасход клея. А можно просто сравнить изображение пятна с контуром клевого клапана и интуитивно определить ситуацию в терминах обычного языка, как на рис. 1. Разумеется, в этом случае тоже на самом деле проводятся все необходимые сложные вычисления, но они происходят "за кадром", а пользователь установки только определяет тестовый контур и с помощью несложной системы меню объясняет управляющему процессору, что такое "много", "мало" и "нормально".

Другой пример принятия решений по несложному интуитивному критерию – проверка правильности ориентации электронных компонентов при автоматическом монтаже. Например, при сортировке электролитических конденсаторов перед сборкой возможны ошибки, которые приводят к переплюсовке при монтаже. Базовое ПО даже простейших систем из линейки Matsushita позволяет с легкостью решить эту задачу, "объяснив" управляющему процессору, что такое "правильно расположенный электролитический конденсатор", просто занеся в память процессора эталонный вид выделенного фрагмента изображения, соответствующий правильному положению детали на конвейере. При этом есть возможность различать отрицательные исходы проверки, например, "неправильно расположенный конденсатор" и "это не конденсатор" (рис. 2).

Базовый пакет ПО позволяет решать такие задачи, как классификация объектов по геометрии или геометрической маркировке, сортировка объектов по наличию или взаимному расположению опорных элементов изображения и другие подобные задачи. Помимо базового, доступны также: специализированный измерительный пакет (количественный контроль геометрических пара-



Рис. 2. Диагностика электронных компонентов при автоматической сборке

метров изображения), пакет для распознавания цифровой и текстовой маркировки и другие программные средства, позволяющие формулировать решения технологических задач в терминах обычного языка.

Рассмотрим кратко функциональные возможности систем, входящих в современную линейку NAIS Matsushita (рис. 3). Простейшая из них, MultiChecker A100/A200, построена на базе 32-разрядного RISC-процессора с быстродействием 360 MIPS (1,4 млрд. операций с плавающей точкой в режиме ускоренной обработки в секунду). Система имеет одну (A100) или две (A200) черно-белых камеры для ввода изображения разрешением 512×480 пикселей при различении 256 уровней серого. Стандартное ПО позволяет реализовать следующие функции (отличие между системами в основном в объеме оперативной памяти, и, соответственно, в числе объектов и шаблонов, обслуживаемых в рамках одной задачи, приведенные цифры относятся к более мощной системе A200):



а) компактная система технического зрения NAIS MultiChecker A100/200



б) компактная система технического зрения NAIS AX30 с возможностью обработки цветных изображений



в) PC-базированная мощная система R400 с возможностью подключения до 12 камер

Рис. 3

- идентификация объекта независимо от сдвига (A100, A200) и вращения (A200);
- идентификация объекта независимо от условий освещенности;
- сравнение с шаблоном (A100, A200) с формированием разностной картинкой (A200);
- обнаружение границы объекта в режиме градаций серого (≤ 96 зон контроля);
- идентификация области изображения объекта произвольной (в т. ч. криволинейной) формы в режиме градаций серого;
- идентификация взаимного расположения деталей объекта (≤ 96 зон контроля);
- обнаружение границы и идентификация выделенной области в режиме бинаризации изображения (то есть отсечки по порогу яркости, возможна установка до 6 порогов отсечки одновременно);

- идентификация линий, в том числе прямых, ломанных и дуг окружности;
- измерение геометрических размеров деталей объекта.

Программирование систем сводится к комбинированию перечисленных функций контроля с помощью системы экранного меню. Аналогично создается и записывается в память набор необходимых для контроля форм и шаблонов. Для вывода результатов контроля имеется 14-контактный выходной разъем. Он позволяет передать ≤ 11 дискретных сигналов на управляющий контроллер или непосредственно на исполнительные устройства, либо подключить по стандартному параллельному интерфейсу принтер для распечатки результатов контроля. Кроме того, для обмена информацией с управляющим ПЛК или РС имеется разъем интерфейса RS-232, с помощью которого можно передать измеренные значения геометрических параметров объекта, а также сами изображения для дальнейшей обработки или сохранения в архиве (без внешних устройств система может помнить ≤ 30 экранов). Система A100/200 обладает возможностью работы с быстро движущимися объектами практически без потери разрешающей способности благодаря быстродействующему электронному затвору и специальному алгоритму параллельной обработки оцифрованного видеосигнала.

На базе перечисленных стандартных алгоритмов для систем A100/200 создано ПО для распознавания текстов (в основном алфавитно-цифровой маркировки), обеспечивающее уверенное распознавание текста в широком диапазоне условий освещенности вне зависимости от масштаба символов, шрифта и способа нанесения маркировки. Работа с этим программным пакетом также не требует навыков программирования как такового.

Наряду с наиболее популярными простыми системами A100/200, возможностей которых достаточно для решения большинства стандартных задач распознавания изображений, Matsushita выпускает еще двухкамерную систему AX30 с возможностями обработки информации о цвете объекта, имеющую два канала RS-232 и порт Ethernet, и РС-базирующую систему Р400 с возможностью подключения ≤ 12 камер и обработки цвета. ПО системы РС400 идеологически однотипно с обеспечением более простых систем (задание параметров вместо самостоятельного программирования алгоритмов), однако предоставляет пользователю гораздо более широкие возможности в отношении обработки и архивирования изображений и результатов измерений. Однако решения на базе РС400 требуют применения мощных промышленных РС и, соответственно, отличаются высокой стоимостью, тем самым основное преимущество применения систем со стандартным набором алгоритмов обработки сводится на нет. Поэтому в последнее время сообщают о внедрениях¹, в которых в качестве объектовых систем использованы компактные устройства класса A100/200, а для расширения их возможнос-

тей организован удаленный доступ к этим устройствам с компьютеров диспетчерского уровня через локальную сеть предприятия. В качестве шлюза при этом используется любой пригодный для установки на объекте недорогой РС с СОМ-портом, через который осуществляется связь с компактной контрольной системой. Подключение компактной системы к машинам диспетчерского уровня открывает целый ряд принципиально новых возможностей таких, как диагностика "в РВ" неисправностей самой системы (загрязнение оптики, смещение камеры, выход из строя подсветки и т. п.), а также удаленной перенастройки компактной системы (созданное для этих целей ПО позволяет полностью эмулировать пульт управления локальной системы на экране диспетчерской машины). Таким образом, значительно облегчается задача перенастройки гибкого производства без его остановки.

Приведем примеры некоторых внедрений, реализованных в последнее время на оборудовании фирмы Matsushita.

Контроль качества сборки автомобильных замков.

Автомобильный замок собирается вручную из штампованных деталей в четыре слоя. Каждый слой контролируется двумя камерами на наличие всех деталей и их взаимное расположение. Имеются некоторые особенности технологии сборки, усложняющие дело: при нанесении смазки на замок непредсказуемо меняется отражательная способность поверхностей, кроме того, на момент контроля детали не полностью смонтированы, а закреплены в шаблоне, что допускает их некоторое смещение и блики при подсветке. Классические методы такие, как подсчет пикселей или распознавание по образцу работают в данном случае недостоверно, но оригинальные математические алгоритмы NAIS обеспечивают достоверность и воспроизводимость результатов контроля. Выполняются и требования пользователя по обеспечению быстрой перенастройки на новый тип изделия. Для этого достаточно просто показать камере новый образец и нажать кнопку. Контроль реализован на системе Р400.

Расфасовка чая в заварочные пакеты. При расфасовке коробки с чаем (≤ 5 видов одновременно) по транспортеру подаются на фасовочную машину. Она обеспечивает подготовку смеси сортов в бункере в строгом соответствии с рецептурой, определяя необходимое число коробок каждого сорта, поэтому надежное распознавание сортов очень важно. Сорт подаваемого сырья определяется по маркировке на таре. Настройка на распознавание нового сорта (типа и маркировки соответствующей коробки) осуществляется просто запоминанием образца маркировки. Система A100 осуществляет определение сорта поступившего на конвейер сырья путем сравнения заложенных в память образцов с маркировкой на таре и сообщает о результате программируемому контроллеру NAIS сер. FP0, который собственно управляет фасовочной машиной. Таким образом, компактная система A100 интегрируется в систему управления машиной в качестве "интеллектуального датчика".

¹ A100/A200: Fernwarten mit Kompakt-Bildverarbeitungssystemen. - Heinz Pfanzer, ETZ 07-08/2003.

Таким образом, реализованная фирмой Matsushita идеология построения решения задач технического зрения без программирования из готовых алгоритмических блоков позволяет решить большинство задач, которые обычно ставятся перед автоматическими системами измерения и контроля параметров продукции на технологических линиях. Справедливости ради отметим некоторую ограниченность этого подхода. Ограниченность эта связана в основном с хорошо известным, например, из практики работы с бухгалтерскими программами эффектом: стандартное ПО соответствует не реальности, а представлениям его создателя о реальности. В результате, когда программа сталкивается с обстоятельствами, о которых ее творец не догадывался, она оказывается бессильной. Так, например, мы не смогли решить с помощью оборудования Matsushita задачу входного контроля посуды на линии розлива известного пивоваренного завода. Чего только не запикивает наш народ в пустые пивные бутылки после их опорожнения – и окурки, и яблочные огрызки, и изделия типа "Визит", но самой большой проблемой оказываются полиэтиленовые оболочки сигаретных пачек. Эти оболочки совершенно не видны в темной бутылке, во время мойки при обработке моющими средствами и острым паром они еще крепче приклеиваются к стеклу и до сих пор единственным устройством, способным обнаружить это постороннее включение до заполнения бутылки пивом, был острый глаз дамы средних лет, сидящей на посту контроля. Бутылки идут рекой, дама быстро устает и начинает делать ошибки, в результате пропуск бутылок с посторонними включениями оказывается недо-

пустимо велик. Применение стандартных для пивного оборудования неинтеллектуальных индикаторов загрязнений на основе различных физических принципов результата не дало. Мы предложили попробовать систему технического зрения класса A100. Оказалось, что скомканную обертку внутри бутылки система уверенно видит, но вот объяснить ей, что такое "чистая пустая бутылка", невозможно. Разброс физических параметров (толщина стенок, оптическая плотность, пузырьки воздуха в толще стекла, а наипаче – многообразие начертаний логотипов производителей стеклотары на донышках бутылок) отечественной пивной посуды оказался настолько превышающим допуски, заложенные программистами Matsushita в стандартные алгоритмы, что система либо отбраковывала половину посуды, либо пропускала все подряд. Найти золотую середину не удалось, и тетя-контролер осталась на своем месте. Правда, задачу пытались решить в рамках самой дешевой комплектации, система классом выше, скорее всего, справилась бы и с российской версией евробутылки. Однако ценовые рамки, установленные заказчиком, были очень жесткими, так как экономический эффект сравнивался не с убытками, возникающими из-за ошибок входного контроля, а с расходами на найм лишней сменщицы для указанной дамы в целях снижения утомляемости персонала. Так что до тех пор, пока наши женщины будут согласны выполнять такую работу за такую зарплату, внедрение передовых технологических решений будет сталкиваться с определенными трудностями. Это, впрочем, касается не только систем технического зрения.

Егоров Евгений Валентинович – канд. физ.-мат. наук, начальник отдела промышленной автоматизации ООО "ЭФО". Контактный телефон (812) 327-86-54, факсы: (812) 247-53-40, 320-18-19. E-mail: eve@efo.spb.su

SIMATIC MACHINE VISION КАК СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА

С.А. Михайлин (ООО "Сименс")

Приводятся общие сведения о системах машинного зрения и решаемых им задачах. Рассматривается группа изделий фирмы Сименс, предназначенная для решения задач анализа видеозаписей – SIMATIC Machine Vision. Приводятся структура, особенности и технические характеристики видеодатчиков.

Введение в системы машинного зрения

Вы когда-нибудь видели непрерывное конвейерное производство? Или фасовочную и упаковочную линии? Или другие технологические линии с непрерывными потоками сырья и готовой продукции?

Скорости движения объектов на таких производствах могут достигать нескольких десятков элементов в минуту и больше. И очень часто не существует датчика, который может дистанционно считать информацию с объекта, например, его форму, цвет, правильность положения или текст, т.е. те параметры, которые говорят о качестве объекта или соответствии его требованиям производства. Очень часто для таких целей используют человека, но постоянное повышение интенсивности производства делает непрерывный человеческий визу-

альный контроль, который характеризуется монотонностью и утомительностью, практически невозможным. Контроль качества на таких производствах может стать серьезной проблемой. Именно для таких целей используются системы машинного зрения.

За счет применения автоматизированных систем визуального контроля и анализа видео изображений могут быть успешно решены задачи:

– построения систем визуального контроля качества продукции, обеспечивающих быстрое и точное выполнение измерений, проверку правильности сборки и полноты комплектации изделий. При этом, визуальному контролю могут подвергаться изделия даже минимальных размеров, например, кристаллы полупроводниковых микросхем;

– построения систем автоматической идентификации составных частей изделия, позволяющих производить выбор деталей по их форме, размерам, соответствия заданному образу, цвету, коду, символам и т. д.

Визуальный контроль и идентификация изделий в процессе производства повышают качество продукции и сокращают время ее изготовления. Использование для этих целей систем машинного зрения позволяет: снизить число бракованных изделий; осуществлять поставки только полностью проверенной продукции.

Нормы контроля могут быть производными от DIN ISO 9000 или определяться специальными требованиями к продукции.

Наибольший экономический эффект и точность работы системы машинного зрения позволяют получить в тех случаях, когда:

- возможно однозначное определение формы и габаритов изделия;
- возможно использовать ограниченный набор характеристик для описания изделия;
- визуальный контроль выполняется в ограниченном объеме;
- размеры изделия допускают использование визуального контроля;
- существует четкий контраст между изделием и фоном.

Как правило, системы машинного зрения состоят из видео-сенсора или камеры, интеллектуального блока для обработки изображения и средства передачи результатов обработки. Системы могут быть как модульные, так и содержать все эти составляющие в одном корпусе. Системы могут работать как автономно, так и в составе сложных систем автоматизации, как системы качества и отбраковки.

Следует отметить, что система машинного зрения, как часть системы автоматизации, очень редко передает по каналам связи непосредственно само изображение, как это делают охранные системы наблюдения. Основная задача системы машинного зрения – это обработка видеокadra и получение соответствующей информации с него, точнее с объекта в нем. Таким образом, от системы машинного зрения мы получаем результаты обработки такие, как ответы да/нет, подходит/не подходит, геометрические размеры, положение в пространстве, цвет, расшифровку штриховых и других кодов, распознанный текст или другие отличительные факторы, по которым можно контролировать объект.

Еще один немаловажный момент для систем машинного зрения – внешние условия. Так как съем информации происходит бесконтактно видеоспособом, то такие факторы, как окружающее освещение, расстояние до объекта, размеры объекта, степень загрязнения объекта, даже его температура, могут влиять на качество получаемого видеокadra, а, следовательно, и достоверность результата. И, в принципе, каждый случай применения систем машинного зрения – уникальный в своем роде прецедент, хотя конечно есть и типовые решения. Для полного удовлетворения всех требова-

ний фирма-поставщик должна предлагать к системам полный спектр дополнительного оборудования такого, как объективы с различным фокусным расстоянием, приборы освещения различной формы и на различные типы освещения, мощные программные средства и др.

Системы машинного зрения SIEMENS

SIMATIC Machine Vision – группа изделий фирмы SIEMENS для решения задач анализа видеозображений, объединяющая в своем составе интеллектуальные видеодатчики двух семейств:

- SIMATIC VS100 – видеодатчики для выполнения операций визуального контроля деталей, считывания матричных или буквенно-цифровых кодов;
- SIMATIC VS720 – интеллектуальные видеодатчики, отличающиеся наиболее широкими функциональными и коммуникационными возможностями.

Все системы SIMATIC Machine Vision отвечают требованиям стратегии Totally Integrated Automation и легко сопрягаются со всеми изделиями и системами SIMATIC.

Семейство **SIMATIC VS100** состоит из четырех интеллектуальных видеодатчиков, ориентированных на выполнение специализированных задач.

Интеллектуальный видеодатчик SIMATIC VS 110 предназначен для визуального контроля деталей, их идентификации, проверки на отсутствие дефектов, проверки ориентации в пространстве и т. д. С его помощью могут контролироваться небольшие металлические детали, формованные детали, конфеты и т. д. размерами вплоть до 59×45×20 мм. Настройка датчиков выполняется с помощью встроенного дисплея и клавиатуры.

SIMATIC VS 110 оснащен дискретными выходами для непосредственного управления промежуточными реле или пневматическими клапанами.

Визуальный контроль выполняется путем анализа теневого изображения объекта, поступающего на головку датчика. Это позволяет устанавливать SIMATIC VS 110 на конвейеры различных типов, карусельные станки и т. д.

Рассмотрим компоненты, которые входят в комплект поставки SIMATIC VS 110.

Головка датчика (рис. 1) оснащена:

- микросхемой CCD с матрицей 640×480 квадратных точек;
- встроенной системой линз. Головка выпускается в двух вариантах, отличающихся типом установленных линз для "маленьких" и "больших" объектов;
- интерфейсом для цифровой передачи изображения в блок обработки изображений;
- корпусом со степенью защиты IP 65.



Рис. 1

Блок обработки изображений (рис. 2) содержит интерфейсы для подключения: цепей питания =24 В; излучателя; головки датчика; цепей ввода/вывода дискретных сигналов; цепей последовательного интерфейса RS-232.

Рис. 2

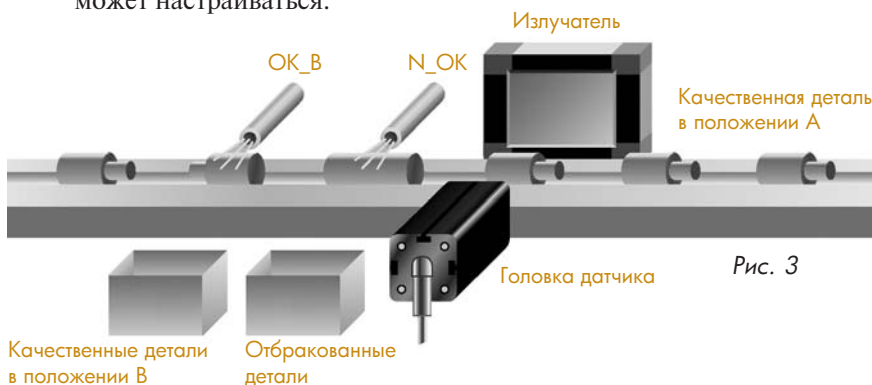


Блок оснащен четырехстрочным дисплеем, шестью кнопками для программирования и настройки параметров, а также светодиодными индикаторами. Анализ видеоизображений выполняется мощным видеопроцессором. Пластмассовый корпус со степенью защиты IP 40 позволяет устанавливать блок вне шкафов управления.

Излучатель включает инфракрасный светодиод, работающий в импульсном режиме. Координацию работы излучателя и головки датчика осуществляет блок анализа изображений. Излучатель выпускается в металлическом корпусе со степенью защиты IP 40 и может монтироваться в различных положениях непосредственно на технологическом оборудовании.

Программирование SIMATIC VS 110 выполняется в режиме обучения и включает выполнение трех или четырех шагов. В процессе обучения в память блока обработки изображений с головки датчика вводятся данные о контурах эталонного объекта, его возможных положениях, цвете фона. В общей сложности допускается вводить данные о 15 эталонных объектах, каждый из которых может занимать одно из двух привилегированных приложений.

Анализ видеоизображений происходит следующим образом (рис. 3). В момент вспышки излучателя на головку датчика поступает теневое изображение объекта, находящегося между излучателем и головкой датчика. При анализе видеоизображений контуры реального объекта сравниваются с контурами аналогичного эталонного объекта, параметры которого сохранены в памяти VS 110. Решение об отбраковке анализируемого в текущий момент объекта формируется на основе определения степени отклонения его контура от контура эталонного объекта. Пороговое значение допустимой степени отклонения контура может настраиваться.



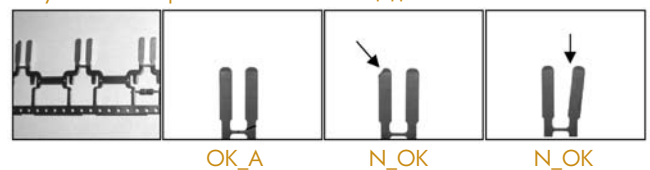
В случае совпадения анализируемого контура с эталонным VS 110 активирует дискретный выход ОК_А. В противном случае в активное состояние переводится дискретный выход N_ОК.

Если для анализа объекта были заданы его привилегированные положения, то на основе анализа изображения объекта VS 110 способен активировать дискретный выход ОК_А для одного или ОК_В для другого привилегированного положения объекта.

SIMATIC VS 110 способен выполнять следующие функции:

- непрерывный анализ видеоизображений или запуск операций анализа по внешнему дискретному сигналу;
- автоматическое включение вспышки излучателя;
- поддержка режима обучения с видеоанализом эталонного объекта и записью параметров в память блока обработки изображений;

Визуальный контроль контактных площадок



Визуальный контроль положения болтов



Визуальный контроль качества резиновых мембран



Рис. 4

– анализ совпадения контуров объекта и эталона с учетом допустимых отклонений;

– формирование одного из трех выходных дискретных сигналов: ОК_А (доброкачественная деталь в привилегированном положении А), ОК_В (доброкачественная деталь в привилегированном положении В) или N_ОК (дефектная деталь);

– установка допустимых отклонений контура реального объекта от эталонного контура;

– установка параметров, учитывающих параметры движения анализируемых объектов (например, для учета вибрационных воздействий);

– передача изображения с головки датчика на компьютер для выполнения наладочных работ.

Примеры применения интеллектуального видеодатчика SIMATIC VS 110 представлены на рис. 4.

Интеллектуальный видеодатчик SIMATIC VS 120 (рис. 5) по своему назначению, большинству технических характеристик и функциональных возможностей аналогичен датчику SIMATIC VS 110. Отличительными чертами датчика SIMATIC VS 120 являются:

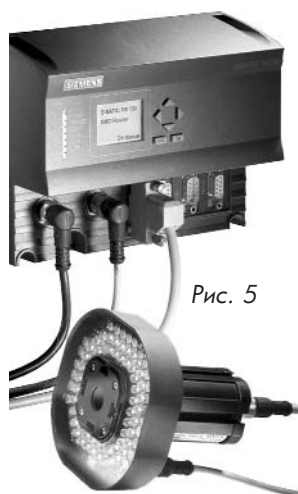


Рис. 5

— использование отраженного изображения объекта вместо теневого.

— использование кольцевого излучателя со степенью защиты IP 65. Излучатель устанавливается на головку датчика или монтируется отдельно от нее;

— наличие встроенного интерфейса PROFIBUS, позволяющего использовать VS 120 в качестве ведомого DP-устройства;

— наличие дополнительных функций оценки координат позиционирования контролируемого объекта;

— наличие двух дискретных выходов: ОК (качественная деталь) и N_OK (брак).

Встроенный интерфейс PROFIBUS позволяет осуществлять дистанционное управление работой датчика, а также передачу ведущему DP-устройству результатов анализа видеоизображения (рис. 6).

Интеллектуальный видеодатчик SIMATIC VS 130 предназначен для считывания матричных кодов DMC (Data Matrix Code), отвечающих требованиям стандарта ECC200, в отраженном свете.

Он способен распознавать: коды, нанесенные на бумажные, пластиковые и круглые ярлыки; пластиковые и металлические детали. Прибор способен производить комплексное или фильтрованное

считывание DMC кодов, повернутых на любой угол в анализируемой плоскости; сравнение распознанных DMC кодов с заранее определенными символами.

Датчик оснащен набором встроенных входов/выходов и интерфейсом ведомого устройства PROFIBUS-DP, что позволяет использовать его как в качестве локального узла управления, так и в составе комплексных систем автоматизации.

Распознанные коды передаются через сеть PROFIBUS ведущему DP-устройству. Датчик позволяет считывать коды, нанесенные на плоские поверхности методом лазерной гравировки, распечаткой или перфорацией. Это позволяет считывать информацию о типе изделия, его серийном номере, номере партии и т.д.

По конструктивному исполнению SIMATIC VS 130 аналогичен датчику SIMATIC VS 120.

Примеры анализируемых матричных кодов представлены на рис. 7.

Интеллектуальный видеодатчик SIMATIC VS 140 предназначен для считывания и декодирования буквенно-цифровой информации в отраженном свете. Коды распознанных символов могут передаваться через PROFIBUS-DP или последовательный интерфейс. Датчик позволяет считывать текстовую информацию, нанесенную на плоские поверхности различными шрифтами методом лазерной гравировки, распечаткой и т.д. Это позволяет считывать информацию о типе изделия, его серийном номере, номере партии и т.д., а также представлять текстовую информацию для просмотра оператором.

По конструктивному исполнению SIMATIC VS 140 аналогичен датчику SIMATIC VS 120.

SIMATIC VS 720 — семейство универсальных видеодатчиков, предназначенных для решения широкого круга задач анализа видеоизображений. Семейство включает пять типов датчиков, отличающихся производительностью, разрешающей способностью, способностью обрабатывать цветные или черно-белые изображения и т.д. В целом семейство SIMATIC VS720 характеризуется следующими показателями:

— полный спектр продуктов для решения задач анализа видеоизображений различной степени сложности;

— мощная аппаратура и широкий спектр программируемых функций;

— гибкие возможности организации промышленной связи с возможностью передачи не только результатов анализа, но и самих видеоизображений;

— возможность передачи не только результатов анализа, но и самих видеоизображений;

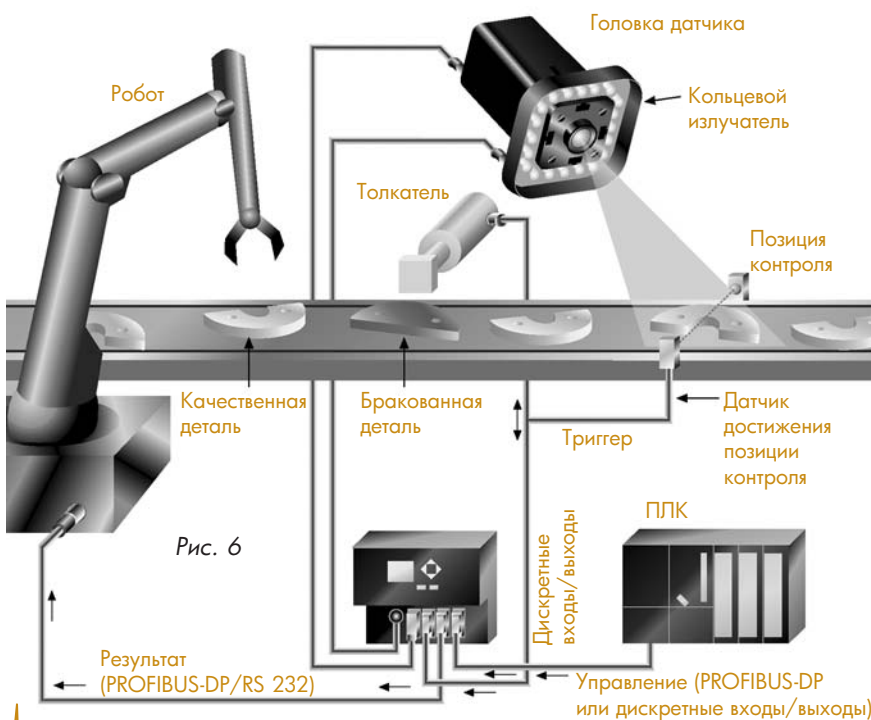


Рис. 6

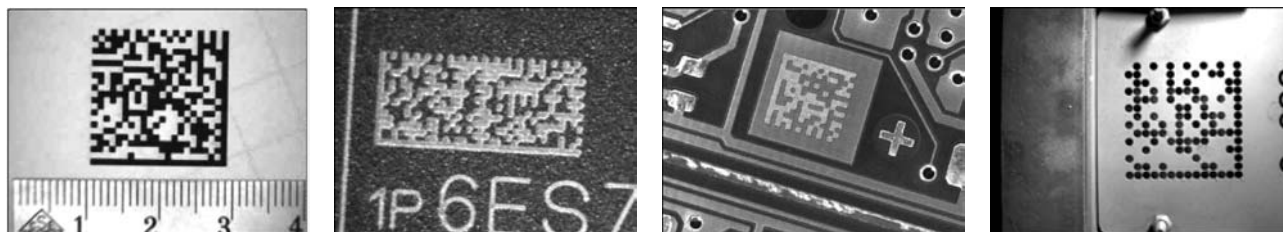


Рис. 7

Печатный код

Лазерный код на пластике

Лазерный код (PCB)

Штампованный код

– построение мощных интегрированных решений на базе совместного использования ПЛК SIMATIC S7-300/S7-400 и видеодатчиков семейства SIMATIC VS720.

Типовыми областями применения датчиков SIMATIC VS720 являются системы машинного зрения промышленных роботов; контроля позиционирования объектов; измерения размеров различных объектов; сборки; цветовой идентификации; контроля формы объектов; идентификации кодов 1D и 2D; распознавания буквенно-цифровой информации.

Видеодатчики SIMATIC VS720 (рис. 8) выпускаются в компактных интегрированных корпусах. В корпус датчика ввинчивается объектив типа CS или С. При этом, для объектива типа С используется специальный адаптер.

В нижней части корпуса расположены интерфейсы датчика – гнезда RJ45 для подключения к сети Ethernet TCP/IP, 10/100 Мбит/с, цепи питания и входных/выходных дискретных сигналов.



Рис. 8

Датчик оснащен восемью дискретными каналами ввода/вывода. Назначение всех каналов определяется на этапе конфигурирования датчика. Например, дискретные входы могут использоваться для управления работой датчика, а дискретные выходы – для управления работой осветительных приборов или исполнительных механизмов.

Встроенный интерфейс Ethernet используется для загрузки программ обработки и передачи результатов анализа и передачи видеоизображений; диагностики датчика.

Видеодатчики семейства SIMATIC VS 720 выпускается в нескольких модификациях.

SIMATIC VS 721 CMOS включает чувствительный элемент в виде микросхемы CMOS 5×3,7 мм (1/3") с разрешением 640×480 точек/дюйм; используется для решения относительно простых задач: видеоанализа изображений статических объектов; контроля наличия объектов; анализа формы объектов, 1D и 2D кодов, буквенно-цифровой информации.

SIMATIC VS 722 Basic включает чувствительный элемент в виде микросхемы CMOS 4,8×3,6 мм (1/3") с разрешением 640×480 точек/дюйм; используется для решения задач: прецизионного видеоконтроля; проверки полноты комплектации; анализа формы объектов, позиционирования и пространственной ориентации комплектующих изделий; измерения размеров различных объектов; анализа 1D/2D кодов, буквенно-цифровой информации.

SIMATIC VS 723 Performance – видеодатчик повышенной производительности, включающий чувствительный элемент в виде микросхемы CMOS 4,8×3,6мм (1/3") с разрешением 640×480 точек. Прибор обеспечивает анализ до 9000 черно-белых изображений в минуту и решение всего спектра задач, поддерживаемых моделью SIMATIC VS 722 Basic.

SIMATIC VS 724 High Resolution – видеодатчик, обеспечивающий высокоточный анализ видеоизображений, включающий чувствительный элемент в виде микросхемы CCD 6,4×4,8мм (1/2") с разрешением 1280×1024 точки/дюйм. Возможно решение задач визуального анализа подложек, потоков, пластмасс, стекла, магнитных лент, межсоединений, гальванизированных покрытий, а также анализ больших изображений, прецизионные измерения, весь спектр задач, решаемых моделью SIMATIC VS 722 Basic.

SIMATIC VS 725 Color – видеодатчик, обеспечивающий анализ цветных видеоизображений с чувствительным элементом в виде микросхемы CCD 3,2×2,4 мм (1/4") разрешением 640×480 точек/дюйм. Выполняется решение всего спектра задач, поддерживаемых моделью SIMATIC VS 722 Basic, а также задач: визуального анализа цветных кодировок; контроля качества окраски поверхностей; обнаружения дефектов в продукции пищевой и обрабатывающей промышленности; анализа цветových последовательностей; контроля отклонений в печати и т. д.



Рис. 9

Сравнительные характеристики видеокамер датчиков семейства SIMATIC VS 720 приведены в таблице.

Помимо камер в состав семейства SIMATIC VS720 входит два коммуникационных модуля (рис. 9). Через встроенный ин-

Таблица

SIMATIC	VS 721 CMOS	VS 722 Basic	VS 723 Performance	VS 724 High Resolution	VS 725 Color
Видеокамера					
Чувствительный элемент	CMOS, 1/3"			CCD, 1/2"	CCD, 1/4"
Разрешающая способность, точки	640x480			1280x1024	640x480
Время экспозиции, мс	10 ... 1000				
Режим обработки	Полноформатное изображение или масштабируемая часть общего изображения				
Установка объективов	Непосредственная – СS или на кольцевой адаптер – С				
Дополнительные функции	Управление вспышкой до четырех осветительных приборов				
Видеопроцессор					
Тип	Motorola, 50 МГц, 60 кадров/с		Hitachi SP4, 200 МГц, 360 кадров/с		
Память программ, Мбайт, Flash	4		8	16	8
Видеопамять, Мбайт, RAM	16		32	64	32

терфейс Ethernet модуль VS Link обеспечивает возможность подключения до 16 видеодатчиков SIMATIC VS720 и отображение анализируемых этими датчиками изображений на экране монитора без использования компьютера. VS Link оснащен:

- встроенным интерфейсом Ethernet TCP/IP, 10/100 Мбит/с, гнездо RJ45;
- встроенным интерфейсом RS-232 с гнездом RJ45 для обновления версий микропрограмм;
- встроенным интерфейсом VGA с 15-полюсным гнездом соединителя D-типа;
- 2-полюсным соединителем для подключения цепей питания =24 В.

Модуль VS Link PROFIBUS дополнительно оснащен встроенным интерфейсом ведомого устройства

PROFIBUS-DP (9-полюсное гнездо соединителя D-типа). Применение этого модуля позволяет подключать видеодатчики SIMATIC VS720 к ПЛК SIMATIC S7, выполняющим функции ведущего DP-устройства.

Применение модулей VS Link и VS Link PROFIBUS позволяет создавать сложные системы комплексной обработки видеоизображений, в которых для получения окончательных результатов анализа используются данные, поступающие от нескольких видеодатчиков.

Для программирования видеодатчиков SIMATIC VS720 и выполнения пуско-наладочных работ используется два пакета программ:

- Spectation для программирования и наладки всех датчиков семейства SIMATIC VS720;
- VS Link для конфигурирования систем связи с использованием компонентов семейства VS Link.

ПО позволяет: выполнять управление всеми данными проекта; разрабатывать программы обработки видеоизображений; отображать изображения, поступающие с видеодатчиков; представлять результаты обработки изображений в табличной форме; использовать для визуализации пиксельную графику и гистограммы; эмулировать работу всех видеодатчиков; конфигурировать системы связи; использовать скрипты для разработки специальных алгоритмов обработки изображений и определения специфических критериев оценки данных; использовать ActiveX элементы управления.

*Михайлин Сергей Александрович – руководитель технической группы отдела A&D AS ООО "Сименс"
Контактный телефон (095)737-24-31. E-mail: sergej.michajlin@siemens.com
Http:// www.simatic.ru, www.siemens.ru/ad/as, www.ad.siemens.de/machine-vision*

ИНФОРМАЦИЯ

от Промышленной группы "Метран"

ГРУППА ПРЕДПРИЯТИЙ
МЕТРАН
ТРАДИЦИИ ТОЧНОСТИ

В связи со снятием с производства, ПГ "Метран" прекращает прием заявок на изготовление датчиков давления:

– Метран-22, Метран-43, Метран-44, Метран-45 исполнений по коду электронного преобразователя АП с 01.10.03 г.;

– Метран-22 (кроме исполнения Метран-22АС), Метран-43, Метран-44, Метран-45 исполнений по коду электронного преобразователя МП, МП1 с 01.11.03 г.;

– Сапфир-22М, в том числе исполнения АС с 01.01.04 г.

ПГ "Метран" подтверждает свои гарантийные и постгарантийные обязательства на приобретенные датчики давления снимаемых с производства серий.

Для удовлетворения требований потребителя в надежных датчиках с высокими метрологическими и техническими характеристиками руководством ПГ "Метран" принято решение о полной замене датчиков сер. Метран-22 (кроме исполнения Метран-22АС), Метран-43, Метран-44, Метран-45 и Сапфир-22М на серию усовершенствованных датчиков давления Метран-100 (ТУ 4212-012-12580824-2001) и Метран-49 (ТУ 4212-008-12580824-99).

ПГ "Метран" допускает замену датчиков Метран-22, Метран-43, Метран-44, Метран-45, Сапфир-22М (в том числе, заложенных в проектах) на соответствующие модели датчиков Метран-100. При заказе датчиков давления необходимо руководствоваться таблицей соответствия Метран-100 моделям датчиков Метран-22, Метран-43, Метран-44, Метран-45 и Сапфир-22М.

Получить полную информацию о предприятии, выпускаемой продукции, региональных представительствах, сертификации и т. д. можно на сайте www.metran.ru.

**Контактный телефон (3512) 98-85-10,
факс (3512) 41-45-17.**