

УДК 007.51 + 007.52 + 681.518

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУМЕРНЫХ МАТРИЧНЫХ КОДОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ И НАВЕДЕНИЯ РТК НА ОБЪЕКТЫ

М.В. Носиков

Современные тенденции к построению «цифровых» производств основаны, в том числе, на системе уникальных идентификаторов материалов, тары и т.д. Одним из наиболее технически доступных средств являются оптические метки, содержащие штрих-код, идентификация которого выполняется вычислительными алгоритмами. Двумерные штрихкоды позволяют выполнить измерение не только информационной составляющей кода, но и пространственной ориентации и положения объекта с нанесенным штрихкодом для передачи этих данных системе управления манипулятором для осуществления автоматического приближения к объекту и операций с ним. Предложена концепция построения, структура и функциональные возможности варианта системы технического зрения, предназначенной для эксплуатации совместно с радиационно-стойкими роботизированными электромеханическими манипуляторами, устанавливаемыми в герметичных камерах предприятий атомной отрасли.

Ключевые слова: робот-манипулятор, система технического зрения, ROS, QR-код.

Системы технического зрения (СТЗ) в настоящее время являются одними из главных средств развития систем управления движением в условиях, когда объём априорной информации недостаточен для принятия решения о дальнейших действиях и необходим анализ внешней обстановки в режиме реального времени. СТЗ находят свое применение в современной робототехнике, космических, авиационных, наземных, надводных и подводных мобильных объектах. Благодаря высоким уровням пространственного и цветового разрешения современные матричные приемники оптического излучения СТЗ могут быть использованы как единственный источник информации при дистанционном автоматизированном и автоматическом решении задач анализа обстановки, навигации или наведения [1, 2]. Наиболее общими задачами систем технического зрения являются:

1. Организация информационного канала передачи видеoinформации оператору(-ам) технологического оборудования. Несмотря на очевидно простой функционал данного варианта СТЗ, ее структура может быть достаточно сложной и включать в себя несколько источников видеосигнала (видеосенсоров, видеокамер), расположенных в различных точках иссле-

дуемого пространства, приводы ориентации оптической оси камер по одной или нескольким угловым или линейным координатам, фокусирующие устройства, каналы мультиплексирования и передачи данных, устройства формирования изображения и т.д.

2. Формирование дополнительного информационного канала передачи данных, базирующегося на алгоритмах как первичной, так и последующей обработки изображения с целью выявления ключевой информации, требуемой системам управления, операторскому и диспетчерскому персоналу. К данной задаче СТЗ можно отнести функции поиска и распознавания отдельных объектов, синтеза сообщений о характере взаимного расположения объектов, параметрах их движения. Как правило, данные задачи требуют решения в режиме реального времени.

3. Регистрация информационных потоков, приведенных в пп. 1,2 на накопители данных, с целью дальнейшей передачи информации потребителю, ее воспроизведения и анализа в режиме «отложенного времени».

СТЗ робототехнических комплексов (РТК) имеют определенную специфику и функциональное назначение в зависимости от типа РТК (мобильного или стационарного). Функциональные задачи СТЗ, характерные для робототехнических приложений, можно условно разделить по уровню их относительной сложности. К элементарным задачам СТЗ РТК обычно относят: обнаружение наличия объекта, измерение расстояния до объекта, его линейных или угловых перемещений и скоростей, измерение геометрических параметров объекта (линейных и угловых размеров, площади), определение физических характеристик излучения от объекта (интенсивности, спектрального состава), подсчет числа объектов и др. Более сложный круг задач выполняет СТЗ, снабжающая систему управления манипуляционного робота информацией, необходимой для осуществления: захвата неупорядоченных объектов, их сортировки, позиционирования и ориентации объекта с требуемой точностью.

В зависимости от задач, решаемых РТК, возможны следующие варианты реализации СТЗ: а) системы без обзорных видеокамер с одной или двумя видеокамерами в зоне схвата манипулятора; б) системы с дополнительными одной или несколькими камерами общего обзора, закрепленным на стационарном или поворотном основании. Оптические оси рабочих камер ближнего радиуса действия зоны схвата манипулятора могут быть как соосны с геометрической осью схвата, так и быть разнесенными. Структурная схема СТЗ робототехнического комплекса приведена на рис. 1.

Этап первичного преобразования и подготовки изображения в цифровой форме позволяет выполнять дальнейшие преобразования изображения вычислительными средствами СТЗ, осуществлять анализ изображения и формирование ключевых информационных признаков в режиме реального времени. В целом этапами работы с оцифрованным изображением (кадром

видеопотока) являются: сегментация изображения, анализ (вычисление качественных и количественных признаков) и описание изображения внутренними структурами и полями данных алгоритмов СТЗ. Завершающим этапом функционирования СТЗ является передача пакетов данных основной и вспомогательной информации к системе управления РТК, которая в зависимости от режима использует данную информацию при формировании управляющих воздействий для основных приводов РТК.

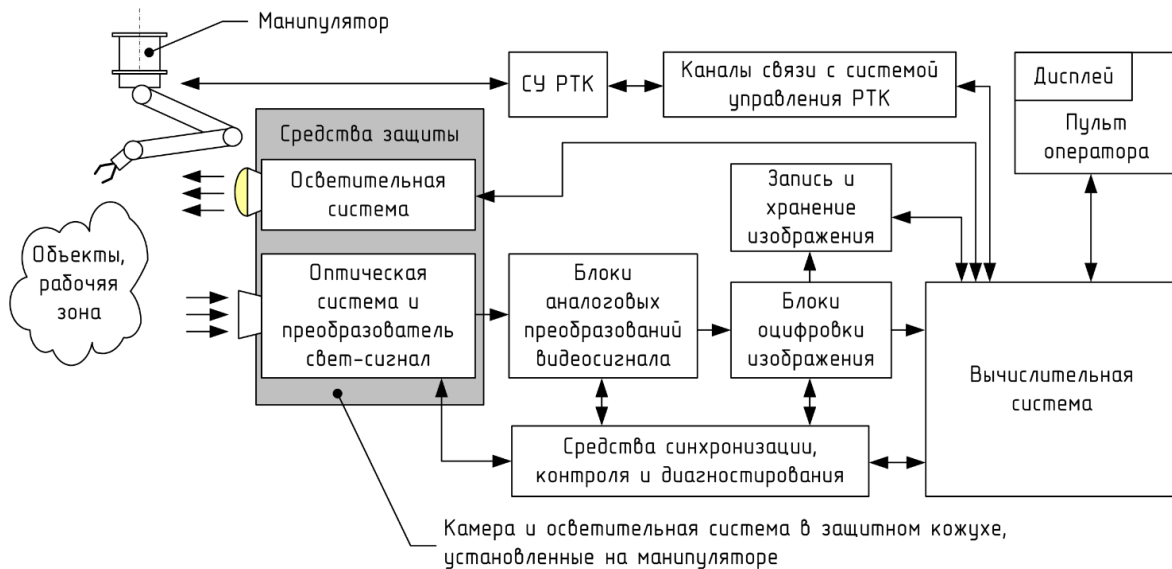


Рис. 1. Структурная схема системы технического зрения в составе радиационно-стойкого РТК, работающего в герметичной камере

Использование двумерных матричных кодов в задачах идентификации и наведения РТК на объекты

Перед современными производственными (технологическими) процессами в целях повышения технико-экономических показателей стоит задача их оптимального информационного сопровождения. Интеграция технологических, производственных данных в единую информационную среду предприятия в большинстве случаев дает возможность оценки текущего состояния производственного цикла, соотнесения с планом, формирования промежуточных и итоговых отчетов, выявления «узких мест» производственной цепочки, реализации аналитических и прогнозных функций.

Одним из ключевых факторов реализации данных задач является идентификация исходных, промежуточных и итоговых объектов (предметов) и средств производства, учет времени выполнения операций, межоперационных интервалов и т.д. Используемые с начала 70-х годов системы идентификации на основе наносимой на предмет графической информации определенной типа (штрихкоды) позволяют частично или полностью решить задачу такого учета.

На сегодняшний день при управлении подвижными объектами, мобильными роботами одномерные и двумерные штрихкоды используются при решении задач локализации, идентификации положения, планирования движения (траектории).

Одним из широко применяемых на сегодняшний день вариантов штрихкода является двумерный QR-код (рис. 2).

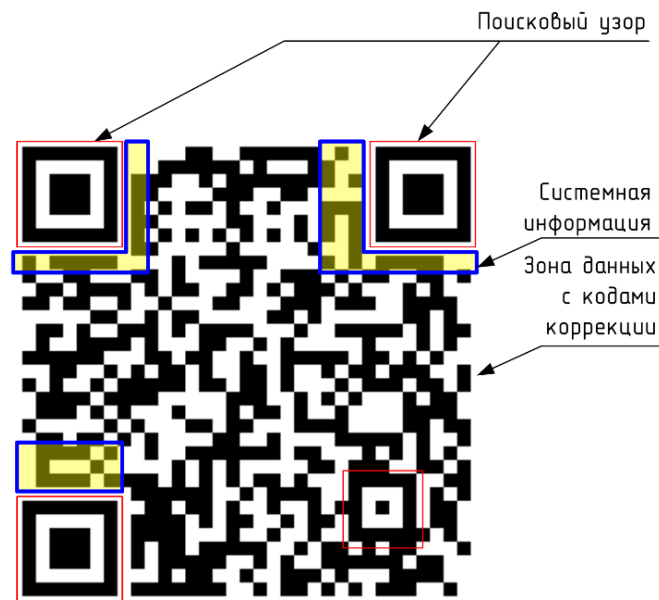


Рис. 2. Внешний вид QR-кода

Использование в штрихкодах, выполненных по стандарту ГОСТ Р ИСО/МЭК 18004-2015 циклических кодов Рида-Соломона (кодов коррекции), позволяет выполнять гарантированное декодирование первичной информации при потере до 30 % визуальной информации из зоны данных [3]. Минимальный геометрический размер данного кода 21x21 модуль (версия 1) при наивысшем уровне коррекции обеспечивает хранение 17 десятичных цифр либо строки из 10 символов, либо до 7 байт информации. С увеличением номер версии (размера кода в модулях) количество хранимой информации возрастает, и для версии 40 (177x177 модулей) может достигать до 4 кБайт информации.

Алгоритм поиска и анализа QR-кодов на изображении, поступающем от видеокамер СТЗ следующий:

1. Выделение зон возможного нахождения QR-кода по ряду признаков (цвет фона, размер зоны).

2. Обнаружение в каждой из выявленных зон характерных поисковых узоров, используя априорную информацию о их геометрических соотношениях. Неизменное соотношение геометрии поискового узора при произ-

вольной ориентации позволяет анализировать зону изображения «построчно» или «по столбцам» независимо от угловой ориентации кода. Результатом выполнения данного этапа являются массивы координат поисковых узоров.

3. Вычисление взаимного положения QR-кода и видеокамеры на основе информации, полученной на этапе 2. На данном этапе выполняется «привязка» системы координат QR-кода к его центру, формирование информации о положении и ориентации кода относительно системы координат и поля зрения камеры (рис. 3).

4. Анализ зоны данных, вычисление и выдача итоговой информации, содержащейся в QR-коде.

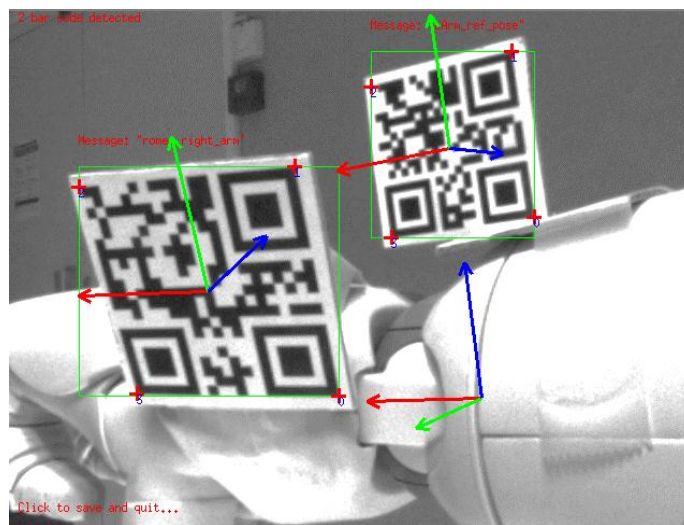


Рис. 3. Изображение, сформированное СТЗ после этапа проверки наличия QR-кодов в поле зрения видеокамеры

Применение СТЗ и системы идентификации QR-кодами позволяет решить задачу наведения схвата манипулятора на идентифицированный объект в автоматическом (полуавтоматическом) режиме, т.е. за определенный интервал времени сформировать кинематическую конфигурацию манипулятора таким образом, чтобы система координат (СК), связанная с видео-сенсором (и соответственно, с системой координат схвата) была определенным образом позиционирована и ориентирована относительно системы координат, связанной с объектом (рис. 4 до и после наведения на объект). С учетом априорной или полученной в ходе анализа QR-кода информации о типе объекта (а следовательно, и данных о его геометрических характеристиках) задачей подсистемы наведения является вывод полюса схвата манипулятора (с учетом габаритных размеров используемого инструмента) в заданную точку пространства S , координаты которой сформированы в СК

объекта $O_{IMi} X_{IMi} Y_{IMi} Z_{IMi}$. В частном случае, точка S может иметь нулевые координаты X_{IMi} , Y_{IMi} и некоторую положительную координату Z_{IMi} .

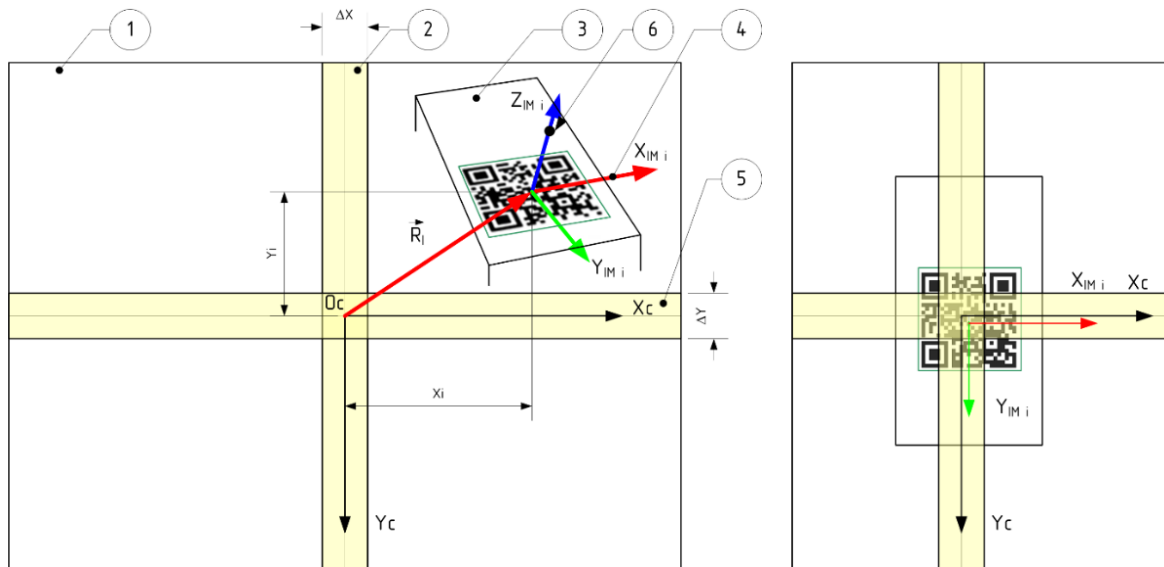


Рис. 4. Идентифицированный объект до и после этапа наведения манипулятора

На рис. 4 обозначены:

- 1 – поле зрения видеокамеры СТЗ;
- 2 – допуск позиционирования объекта относительно центра поля зрения видеокамеры по оси X ;
- 3 – идентифицированный объект;
- 4 – система координат, связанная с объектом;
- 5 – допуск позиционирования объекта относительно центра поля зрения видеокамеры по оси Y ;
- 6 – целевая точка позиционирования (наведения) схвата манипулятора.

Алгоритм позиционирования и ориентирования схвата манипулятора может быть реализован, используя следующие два подхода:

1. Наведение схвата осуществляется путем вычисления и формирования требуемых управляющих воздействий на исполнительные приводы на каждом такте (кадре) поступления информации от СТЗ.

2. Наведение схвата осуществляется путем однократного вычисления требуемой позиции и ориентации схвата с дальнейшим автоматическим построением траектории наведения и ее исполнения.

Первый подход предпочтителен для наведения на объекты, имеющие высокую вероятность перемещения во время этапа наведения, при этом реализация данного подхода требует повышенных вычислительных ресурсов. Алгоритмы, реализующие второй подход, менее ресурсоемки, т.к. точка наведения вычисляется однократно по команде оператора и при выполнении этапа наведения изображение от СТЗ не анализируется. Следует

учитывать, что в ряде случаев требуется безударное начало и останов движения, интенсивность набора скорости и ее ограничения. Особенно актуальной данная подзадача становится при близких к вырожденным конфигурациям манипулятора.

В целом, алгоритм позиционирования может быть реализован несколькими способами, в зависимости от структуры СУ РТК и формируемых ей управляющих параметров. При предложенном в работе [4] и реализованном в опытном образце манипулятора способе ручного управления по скорости схвата (при пропорциональном отклонении джойстиков), алгоритмы автоматического позиционирования предложено также реализовать в виде управления по вектору скорости:

$$\dot{\mathbf{x}} = f(\vec{\mathbf{R}}_i, \Lambda_i) = f(R_{xi}, R_{yi}, R_{zi}, \lambda_{0i}, \lambda_{1i}, \lambda_{2i}, \lambda_{3i})$$

$$\dot{\mathbf{x}} = [\dot{x} \quad \dot{y} \quad \dot{z} \quad \dot{\varphi} \quad \dot{\psi} \quad \dot{\theta}]^T$$

$$\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{J}^{-1} \dot{\mathbf{x}},$$

где $\dot{\mathbf{x}}$ – производная вектора состояния схвата (линейные и угловые скорости движения связанной со схватом СК);

$\vec{\mathbf{R}}_i$ – радиус-вектор системы координат i -го объекта (объект наведения);

Λ_i – кватернион, описывающий ориентацию СК i -го объекта по отношению к СК схвата (камеры);

$\dot{\mathbf{q}}$ – угловые скорости вращательных сочленений манипулятора, вычисленные с помощью обратной матрицы Якоби \mathbf{J}^{-1} .

На рис. 5 на примере компоненты R_{xi} показаны варианты фазовых траекторий движения схвата манипулятора (линейной скорости движения схвата \dot{x}).

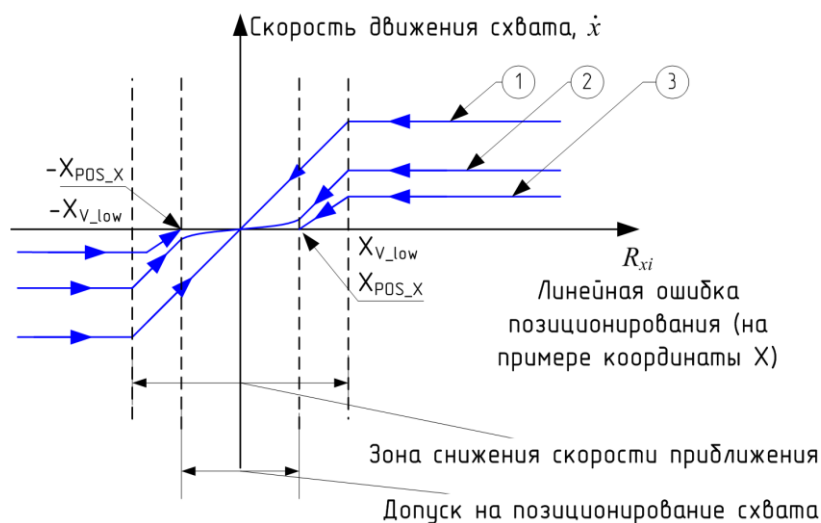


Рис. 5. Варианты реализации фазовых траекторий при выполнении наведения

На рис. 5 обозначены:

1, 2, 3 – варианты функциональных зависимостей скорости схвата манипулятора от ошибки позиционирования;

X_{V_low} – граница начала зоны снижения скорости наведения схвата;

X_{POS_X} – величина ошибки допуска позиционирования схвата.

Заключение

В работе предложен один из вариантов построения и алгоритмов работы системы технического зрения для обеспечения ряда эксплуатационных режимов внутрикамерных многозвенных радиационно-стойких манипуляторов. Предложенная система позволяет повысить эффективность работы операторского персонала при выполнении операций, требующих визуального контроля с ближней дистанции, с выполнением отдельных операций в автоматическом режиме (захват, позиционирование). Использование систем двумерного штрихкодирования позволяет выполнять задачи идентификации типа объекта и его пространственного положения и ориентации. Построенное на базе архитектуры ROS программное обеспечение СТЗ позволяет выполнять эффективный обмен информационными сообщениями с системой управления РТК.

Библиографический список

1. Форсайт, Д.А. Компьютерное зрение. Современный подход / Д.А. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
2. Техническое зрение в системах управления 2012. Сборник трудов научно-технической конференции. Москва, 14–16 марта 2012, ИРИ РАН. – М., 2012.
3. Nisham Tribak. QR Code Patterns Localization based on Hu Invariant Moments / Nisham Tribak, Youssef Zaz // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2017. – Vol. 8. – No. 9.
4. Система управления роботом-манипулятором с использованием нейросетевых алгоритмов ограничения рабочей области схвата / И.В. Войнов, А.М. Казанцев, Б.А. Морозов, М.В. Носиков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2017. – Т. 17, № 4.

[К содержанию](#)