

СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСАХ

**Зинзер А.Е., Осипов Е.В., канд. техн. наук, доцент
Оренбургский государственный университет**

Современный этап развития робототехники характеризуется устойчивой тенденцией к повышению роли технологических роботов, непосредственно выполняющих основные производственные операции (сварку, окраску, механообработку, сборку, монтаж электронных схем и т. п.), по сравнению со вспомогательными роботами, обслуживающими основное технологическое оборудование. Соответственно увеличивается значимость эффективного применения систем технического зрения (СТЗ) в комплексе с технологическими роботами, что придает последним абсолютно новые возможности, особенно в гибких производственных системах.

Сварочное производство является одним из главных потребителей роботов, которые уже давно стали массовым и привычным оборудованием точечной контактной сварки и все шире используются при операциях дуговой сварки.

Важное место в системах адаптации сварочных роботов отводится и техническому зрению. При создании СТЗ для роботизации сварки нужно преодолевать специфические трудности, обусловленные сильными помехами от яркого света дуги (горелки) и сварочной ванны, необходимостью защиты видеосенсора от брызг расплавленного металла, воздействия высоких температур и агрессивной газовой среды, большой неравномерностью отражения света от поверхности свариваемых элементов. Поэтому наряду с попытками использования стандартных промышленных телевизионных установок идет активная разработка специальных СТЗ, ориентированных на решение сварочных задач. Эти СТЗ включают: осветители с направленным и монохроматическим излучением или модулированным световым потоком; избирательные фильтры; световоды; устройства охлаждения и защиты; различные видеосенсоры, которые устанавливаются как в непосредственной близости от точки сварки (часто монтируются вместе со сварочной головкой), так и на некотором удалении от нее для обнаружения шва «с опережением» и снабжают системами зеркал, двигателями для сканирования зоны, а также аппаратными и программными средствами обработки видеoinформации для быстрого поиска центральной линии свариваемого соединения. Проиллюстрировать изложенное можно рядом примеров.

Для дуговой сварки применяется адаптивная система по слежению за стыком, использующая компактный видеодатчик, встроенный в сварочную горелку (рисунок 1). Последняя состоит из блока ввода монохроматического излучения от He-Ne-лазера малой мощности. Поток излучения от лазера, проникая через стекловолоконную оптику, отображается в виде полосы, расположенной поперек кромок стыка. Отраженное от поверхности излучение, проходя через фильтр и систему линз, направляется в объектив жгута волоконной оптики и далее, минуя горелку, в видикон со считывающим устройством. По результа-

там считывания (в том числе по оценке симметрии расположения освещенной полосы относительно кромки) появляется команда на коррекцию положения горелки. Нежелательный эффект светового излучения дуги широкого спектра удален путем применения фильтра, специальных линз, стекловолоконных проводников и видикона, рассчитанных на потоки излучения с выделенной длиной волны. Для снижения влияния высокочастотного разряда применяется экранировка электрической схемы в целом. Система работает при скоростях сварки $0_{св} < 10$ мм/с.

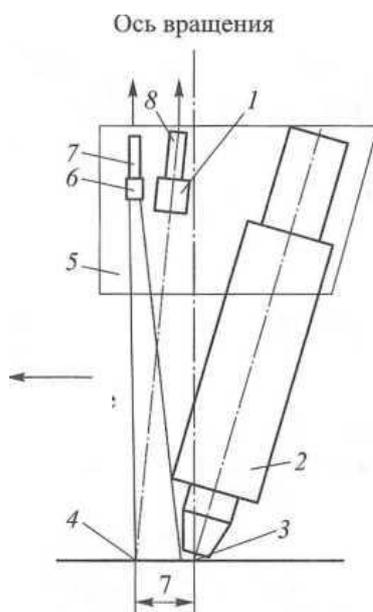


Рисунок 1 – Лазерный датчик слежения за стыком: 1 — фильтр и система линз; 2 — сварочная головка; 3 — сварочная ванна; 4 — полоска света; 5 — корпус; 6 — система линз; 7 — световод; 8 — волоконный световод

Другим примером компактного видеосенсора, построенного с использованием метода триангуляции, является видеосенсор, смонтированный в одном корпусе с горелкой (рисунок 2). Аппаратура видеосенсора, расположенная вблизи области сварки, заключена в цилиндрический корпус диаметром 57 мм, центральная часть которого занята горелкой. Видеосенсор состоит из двух частей. Каждая часть включает: источник структурированного освещения, состоящий из маломощного инфракрасного лазера и цилиндрической оптики для получения полосы, пересекающей линию соединения; фотоприемник на основе ПЗС-матрицы; интерференционный фильтр; объектив; сменное входное окно. Поле зрения каждой из двух частей видеосенсора 19x16 мм, при этом центр поля зрения удален от точки сварки на расстояние 16 мм.

Газовое сопло защищает фотоприемник от прямого света сварочной дуги и препятствует попаданию брызг металла на входное окно.

Одна из двух частей видеосенсора анализирует соединения перед точкой сварки и служит для получения информации об отклонении линии соединения от эталонного, а также для измерения зазора в соединении. Зазор измеряется с погрешностью не более 0,2 мм. В начале сварки отклонение линии соединения

от эталонного положения не должно превышать 5 мм, иначе должна реализовываться специальная процедура поиска. Вторая часть видеосенсора анализирует соединение после сварки и используется для получения информации об отклонении формы и положения получаемого шва от заданных значений. Компьютер, который является частью видеосенсорной системы, вырабатывает информацию, необходимую как для геометрической, так и для технологической адаптации.

Следует отметить, что выбор принципа измерения положения свариваемого соединения и конструкции сенсоров на практике осуществляют, исходя из типа сварного соединения, габаритных размеров свободного пространства в зоне, прилегающей к соединению, материала изделия, характера его поверхности и кромок, подготовленных под сварку, особенностей технологического процесса изготовления изделия, а также возможностей системы управления.

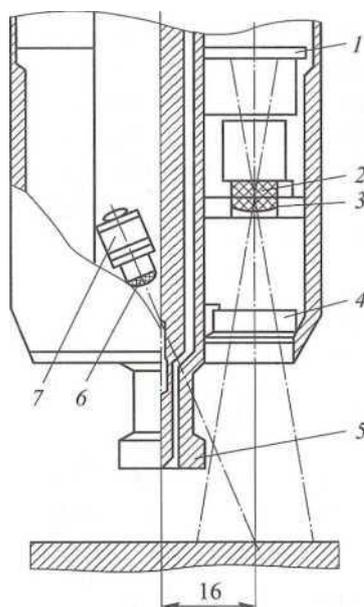


Рисунок 2 – Схема видеосенсора, смонтированного в одном корпусе с горелкой: 1 – фотоприемник (ПЗС-матрица); 2 – интерференционный фильтр; 3 – объектив; 4 – окно; 5 – газовое сопло горелки; 6 – цилиндрическая оптика; 7 – лазерный источник освещения

Система ARTIST (Adaptive Real-Time Intelligent Seam Tracker) — адаптивная интеллектуальная система отслеживания шва в реальном времени (разработка Университета штата Пенсильвания, США) — применяется для роботизации сварки без необходимости предварительного программирования сварочного робота путем его проведения по требуемой траектории. Это обеспечивается благодаря тому, что система (рисунок 3) способна управлять движением сварочной головки в реальном времени на основе видеоинформации об искажении лазерного луча на стыке свариваемых деталей. Видеосенсор с лазерным излучателем фирмы Chesapeake Laser Systems (США) измеряет профиль стыка методом триангуляции. Максимальное число точек измерения при сканировании — 1000; скорость измерения — несколько миллисекунд на точку; погрешность

измерения не более $\pm 0,125$ мм на линии шириной 32 мм. Видеосенсор оснащён щитком, оберегающим от брызг расплавленного металла, светофильтром для задымленной среды и специализированным препроцессором, преобразующим исходную видеоинформацию в последовательность значений отклонений оси объектива от средней линии стыка. Эти сигналы поступают в микро ЭВМ IBM PC, где вместе с текущими координатами видеосенсора используются для расчета пространственного положения стыка в системе координат рабочего органа робота.

Программное обеспечение имеет модульную структуру и реализует следующие алгоритмы: сбора данных о профиле стыка (с управлением частотой съема и временами задержек); фильтрации ошибочных отсчетов, вызванных, например, отражением луча от блестящих участков сварочной ванны; обработки видеоинформации с сегментацией изображений, что позволяет достаточно точно определять V-образную разделку, валики прихваточного шва, среднюю линию и кромки стыка; преобразования геометрии стыка в систему координат сварочной головки.

Система ARTIST рассчитана на использование вместе с порталным роботом Unimate 6000 (шесть степеней подвижности) и предусматривает многопроходную сварку швов с V-образной разделкой со скоростью до 25,4 мм/с.

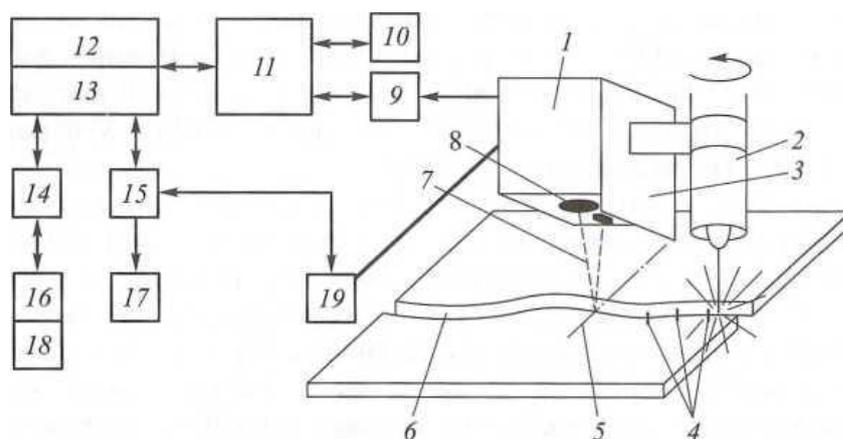


Рисунок 3 – Система дуговой сварки роботом с СТЗ: 1 – видеосенсор; 2 – сварочная головка; 3 – щиток; 4 – позиции коррекции; 5 – линия сканирования; 6 – стык; 7 – лазерный луч; 8 – телекамера; 9 – специализированный процессор; 10 – процессор обработки изображения (ПОИ); 11 – шина; 12 – интерфейс микроЭВМ; 13 – супервизорное устройство управления; 14 – интерфейс сварочного стола; 15 – устройство управления роботом (УУР); 16 – контроллер сварочного стола; 17 – сварочное оборудование (СО); 18 – сварочный стол; 19 – робот

Структура роботизированного комплекса для автоматической сварки двигателя космического корабля «Шаттл», разработанная совместно НАСА и компанией Rockwell International, показана на рисунке 4. Для каждого двигателя, который состоит из большого числа деталей, выполненных из различных жаропрочных сплавов и имеющих большой разброс по толщине, типам разделки кромок, отражательной способности, необходимо заварить до 3000 швов, неко-

торые из них — многопроходные. Эти факторы вместе с повышенными требованиями к качеству изделия не позволяют применять обычные средства автоматизации сварки, и около 50 % сварочных операций нужно выполнять вручную.

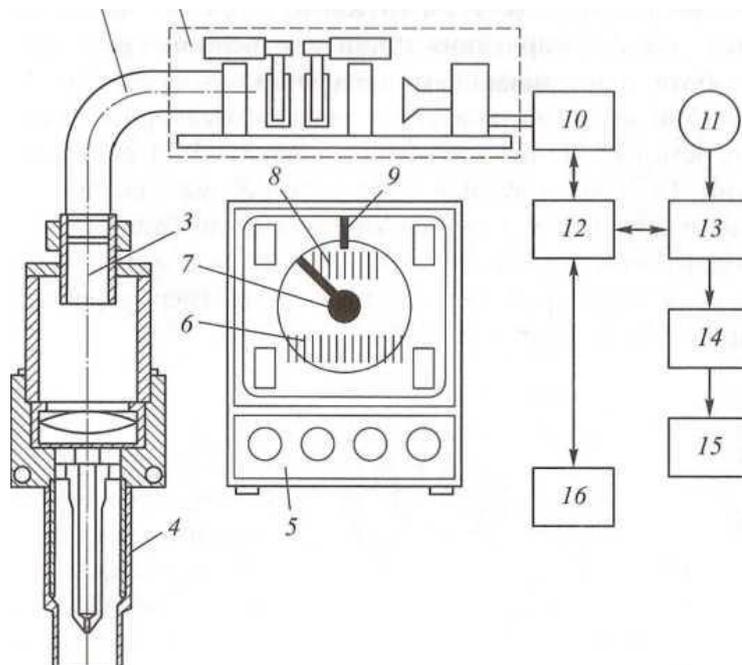


Рисунок 4 – Схема включения СТЗ в адаптивный роботизированный комплекс для сварки двигателя космического корабля «Шаттл»: 1 – ПЗС-камера; 2 – оптоволоконный световод; 3 – соосный оптический приемник; 4 – шов; 5 – окно слежения за швом; 6 – тень от электрода; 7 – окно измерения ширины сварочной ванны; 8 – дисплей; 9 – очувствленная сварочная головка; 10 – ПОИ; 11 – робот; 12 – ЭВМ; 13 – УУР; 14 – контроллер сварочного оборудования (КСО); 15 – СО; 16 – ССУ

Для роботизации части этих операций предложено использовать робота Cyro 750 фирмы Advanced Robotics (США) и СТЗ с видеосенсором, разработанным в Университете штата Огайо (США), приемник которого устанавливается непосредственно в сварочной головке соосно с электродом и связан гибким оптоволоконным световодом с ПЗС-камерой. Полученное изображение обрабатывается процессором PDP 11/45, который, в свою очередь, обменивается информацией с центральной ЭВМ VAX 11-780 производственной ячейки. Имеющиеся средства графического моделирования и САПР дают возможность оператору в интерактивном режиме выбирать вид и параметры алгоритмов выделения характерных признаков, чтобы СТЗ наилучшим образом выявляла швы разных типов и определяла их геометрические характеристики. Адаптивная коррекция движений робота в режиме контурного управления рассчитана на скорость сварки до 5 мм/с. Точность позиционирования составляет 0,254 мм. Компания Norfolk & Western Railway (США) применила стереозрение для формирования пространственной траектории движения робота, приваривающего вкладыши размером 190x230 мм в тяжелые (500 кг) рамы колесных тележек бункерных вагонов во время их ремонта. Длина каждого шва около 90 см, ско-

рость сварки 25 см/мин. Поскольку точная пространственная фиксация вкладышей крайне осложнена, специалисты компании сочли целесообразным использовать сварочный робот AID-800 в адаптивном режиме, снабдив его СТЗ с парой твердотельных телекамер, укрепленных на расстоянии 76,2 см друг от друга. Бинокулярная СТЗ фирмы Automatix Robotic Systems (США) по двум изображениям методом триангуляции находит трехмерные координаты крайних точек прорези в середине вкладыша и по известным его размерам определяет траекторию будущего сварного шва. Этот процесс — от начала движения робота к рабочей позиции до начала сварки — занимает менее 6 с. Вычислительная часть системы строится на базе микропроцессора Motorola 6800. Для программирования как СТЗ, так и робота оператор может пользоваться удобным языком RAIL. Вся процедура калибровки и обучения системы новому классу деталей занимает не более часа.

Список литературы

- 1. Автоматизация сварочных процессов / под ред. В.К. Лебедева, В.П. Черныша. Киев: Вища школа, 1986.*
- 2. Браверман В.Я., Лелеков А.Т., Белозерцев В.С. Феррозондовый датчик для слежения за стыком свариваемых деталей. Патент РФ № 2457476, 2012.*
- 3. Геттерт В., Герден Г., Гюттнер Х. Сварочные роботы / под ред. Г. Гердена; пер. с нем. Г.Н. Клебанова, Д.Г. Тесменицкого. М.: Машино-строение, 1988. 288 с.*
- 4. Гладков Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке. М.: Академия, 2006.*
- 5. Львов Н.С., Гладков Э.А. Автоматика и автоматизация сварочных процессов: учеб, пособие для вузов. М.: Машиностроение, 1982.*
- 6. Машиностроение. Энциклопедия. В 40 т. / под ред. К.В. Фролова. М.: Машиностроение, 1999.*
- 7. Мошкин В.И., Петров А.А., Титов В.С., Якушенков Ю.Г. Техническое зрение роботов / под ред. Ю.Г. Якушенко. М.: Машиностроение, 1990.*