



УДК 621.791:658.011.54

ОПТИЧЕСКИЙ СЕНСОР ДЛЯ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СТЫКОМ ПРИ РАЗМЕРАХ ЗАЗОРА, БЛИЗКИХ К НУЛЮ

Ф. Н. КИСЕЛЕВСКИЙ, д-р техн. наук, Г. А. БУТАКОВ, В. В. ДОЛИНЕНКО, кандидаты техн. наук, Е. В. ШАПОВАЛОВ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложен подход к построению оптической сенсорной системы для определения траектории стыка, выполняемого без разделки кромок с размером зазора, близким к нулю. Сенсор позволяет устранить ряд недостатков метода светового сечения и может служить полезным дополнением к нему.

Ключевые слова: оптический сенсор, цифровая фильтрация, отношение сигнал/шум, шероховатость поверхности, световое сечение, инфракрасный осветитель

Для решения задачи слежения за стыком при автоматической дуговой сварке разработан ряд сенсоров (электродуговые, индуктивные, тактильные, оптические и др.), принцип действия которых основан на использовании явлений различной физической природы.

Требования, предъявляемые к сенсорам в системах управления дуговой сваркой, достаточно высоки в отношении устойчивости к механическим, термическим и электромагнитным воздействиям при приемлемой цене [1].

Общая тенденция в развитии работ в области создания сенсорных систем для сварочного производства связана с построением оптических датчиков, что обусловлено их преимуществами по сравнению с другими системами с точки зрения информационной полноты [2, 3]. Оптические датчики, помимо данных о положении стыка, позволяют получить информацию о его геометрических размерах (зазор, изменение формы разделки и т. п.), а в ряде случаев измерить размеры формируемого шва и/или сварочной ванны.

Среди оптических систем, применяемых в автоматической дуговой сварке, наибольшее распространение получили сенсоры, работающие на основе метода светового сечения.

К сожалению, использование метода светового сечения при сварке хорошо подогнанных деталей без разделки кромок сильно затруднено или даже невозможно, поскольку при этом существенно возрастает вероятность ошибочного определения положения стыка, особенно если свариваемые поверхности обработаны грубо или имеют дефекты. При слежении за стыком с V-образной разделкой кромок в процессе сварки деталей из материала с высоким коэффициентом отражения (нержавеющие стали, сплавы алюминия) могут возникать паразитные переотражения на гранях разделки, что влияет на правильность определения его положения.

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработана оптическая система слежения за стыком в поперечном направлении для случая, когда размер зазора близок к нулю. Принцип работы системы показан на рис. 1.

Основным элементом системы является цифровая видеокамера, содержащая прибор с зарядовой связью (ПЗС-камера), обработка данных которой выполняется с помощью персонального компьютера.

Для увеличения отношения сигнал/шум в условиях сильного светового излучения дуги применен интерференционный инфракрасный фильтр, рабочая длина волны которого выбирается из следующих условий:

ПЗС-камера должна отличаться достаточной чувствительностью в диапазоне длин волн, пропускаемых инфракрасным интерференционным фильтром;

световое излучение дуги при сварке должно быть по возможности минимальным в рабочем диапазоне интерференционного инфракрасного фильтра.

Чтобы обеспечить стабильные условия для работы ПЗС-камеры достаточно осветителя, собранного из нескольких инфракрасных светодиодов (5...6 шт.). Корпус осветителя одновременно служит радиатором для охлаждения. Рассеянность освещения достигается в результате взаимного пересечения ди-

аграмм направленности излучения светодиодов, когда расстояние от осветителя до свариваемых поверхностей намного превышает размеры светодиодов. Прием информации выполняется в реальном масштабе времени. Скорость обработки изображений составляет пять кадров в секунду.

Исходное изображение, представленное массивом чисел, обрабатывается с использованием линейной или нелинейной фильтрации с тем, чтобы усилить перепады яркости. Резкие изменения (разрывы) яркости являются простейшими признаками при определении очертаний объектов. На выбор алгоритма фильтрации влияют оптические свойства поверхности деталей — шероховатость, наличие дефектов на поверхности (оксиды, царапины), коэффициент отражения и т. д.

Один из наиболее простых методов линейной фильтрации заключается в вычислении дискретных разностей, что аналогично непрерывному пространственному дифференцированию. Подчеркивание вертикальных перепадов осуществляется горизонтальным (построчным) дискретным дифференцированием. В результате формируется массив элементов

$$G(j, k) = F(j, k) - F(j, k + 1),$$

где j, k — координаты точки на изображении; $F(j, k)$ — яркость этой точки. Аналогично осуществляется подчеркивание

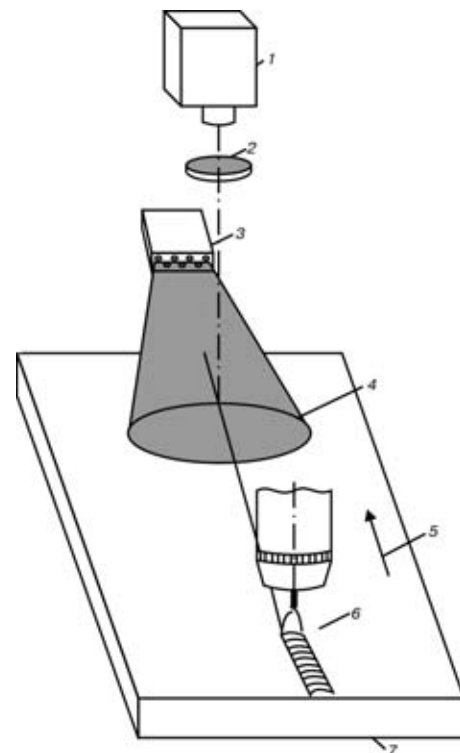


Рис. 1. Принцип работы системы слежения за стыком с зазором, близким к нулю: 1 — ПЗС-камера; 2 — интерференционный фильтр; 3 — осветитель; 4 — рассеянный свет; 5 — направление сварки; 6 — зона сварки; 7 — изделие

© Ф. Н. Киселевский, Г. А. Бутаков, В. В. Долинченко, Е. В. Шаповалов, 2003

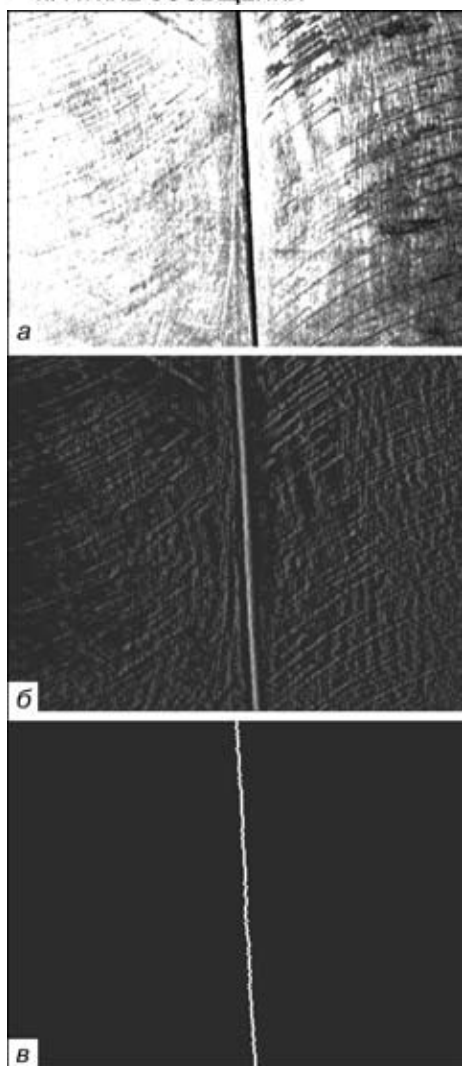


Рис. 2. Изображения, полученные с помощью программы обработки изображений: *a* — исходное; *б* — после фильтрации; *в* — поиск и выделение стыка

горизонтальных перепадов. В результате получается массив элементов

$$G(j, k) = F(j, k) - F(j + 1, k).$$

Диагональное подчеркивание можно получить путем вычисления разностей уровней диагональных пар элементов изображения.

В нелинейных системах обнаружения перепадов для контрастирования перед пороговым ограничением используют нелинейные комбинации значений яркости элементов изображения. В большинстве методов ограничиваются обработкой окон 2Х2 или 3Х3 пикселя.

Для контрастирования и выделения перепадов часто используют следующую нелинейную операцию двумерного дискретного дифференцирования, предложенную в работе [4]:

$$G_R(j, k) = ([F(j, k) - F(j + 1, k + 1)]^2 + [F(j, k + 1) - F(j + 1, k)]^2)^{1/2}.$$

Часто применяют также нелинейный метод обнаружения перепадов, основанный на гомоморфной обработке изображения

[5]. Согласно этому методу, точка находится на перепаде, если логарифм от яркости этой точки превосходит среднее значение логарифмов яркостей четырех ближайших соседних элементов на некоторое фиксированное значение. Элемент контрастированного изображения определяется как

$$G(j, k) = \log |F(j, k)| - \frac{1}{4} \log(A_1) - \frac{1}{4} \log(A_3) - \frac{1}{4} \log(A_5) - \frac{1}{4} \log(A_7),$$

где A_1, A_3, A_5, A_7 — яркости четырех соседних точек относительно точки с координатами (j, k) или

$$G(j, k) = \frac{1}{4} \log \left\{ \frac{[F(j, k)]^4}{A_1 A_3 A_5 A_7} \right\}.$$

Сравнение $G(j, k)$ с верхним и нижним пороговыми значениями эквивалентно сравнению дроби в скобках выражения с видеоизмененным порогом. Поэтому не требуется точно вычислять значения логарифмов. Основное преимущество логарифмического детектора перепадов, кроме простоты вычисления, состоит в том, что он не чувствителен к мультипликативным изменениям уровня яркости [6].

Логарифмический метод контрастирования можно рассматривать как линейное контрастирование с помощью оператора Лапласа, уровни элементов которого равны логарифмам яркостей. Другие методы контрастирования также можно легко представить в виде последовательности нелинейных поэлементных операций с дальнейшим линейным контрастированием перепадов и пороговым ограничением.

Исходное изображение свариваемых поверхностей в рассеянном свете, полученное с помощью ПЗС-камеры в процессе работы сенсора, приведено на рис. 2, *a*. Изображение после предварительной фильтрации показано на рис. 2, *б*. Следующий шаг в алгоритме обработки заключается в поиске и выделении стыка. На рис. 2, *в* показан результат работы подпрограммы поиска и определения траектории стыка.

Описанный оптический сенсор, к сожалению, не позволяет получать информацию о превышении кромок или глубины разделки и точно определять расстояние от горелки до стыка. В связи с этим метод целесообразно применять как дополнение к сенсору светового сечения.

Описанный метод слежения за стыком в рассеянном свете представляется достаточно перспективным. В дополнение к другим оптическим методам он дает наилучшие результаты, особенно при слежении за стыком с зазором, близким к нулю.

1. Кёльбль В. Оптическая система направления по шву и различные примеры ее применения // Vortrag DER. — Fel-lbach, 1989. — S. 139–142.
2. The-state-of-the-art of ars welding in vessel and pipe / M. Ushio, K. Oshima, S. Asain et al. — S.l., S. a. — 16 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XII-1585–99).
3. Lee C. W., Na S. J. A study on the influence of reflected ARC light on vision sensors for welding automation // Welding J. — 1996. — № 11. — P. 379–387.
4. Дьяконов В., Абраменкова И. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. — СПб.: Питер, 2002. — 350 с.
5. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. — В 2 т. — М.: Мир, 1982. — Т. 2. — 400 с.
6. Повышение качества слежения за стыком на основе технического зрения / Ф. Н. Киселевский, Г. А. Бутаков, В. В. Долиненко, Е. В. Шаповалов // Проблемы обеспечения качества в сварочном производстве: Материалы междунар. науч.-практ. конф. и выставки (Киев, 3–6 апр. 2001 г.). — Киев, 2001. — С. 20–21.

A new approach is proposed to construction of an optical sensor system to determine the trajectory of a butt joint, welded without edge preparation with a gap close to zero. The sensor allows eliminating several disadvantages of the light section methods and may serve as a beneficial addition to it.

Поступила в редакцию 26.07.2002,
в окончательном варианте 05.08.2002