

دستگاهی خودکار برای هدایت دستگاه جوش مارپیچ با استفاده از ماشین بینایی

مهدی سعادت‌مند طرزجان

دانشکده برق دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

m_saadatmand_tarzan@yahoo.com

چکیده در این مقاله دستگاهی خودکار که از ماشین بینایی سود می‌برد، برای هدایت دستگاه جوش مارپیچ معرفی شده است. هدف از ساخت این دستگاه خودکار نمودن فرآیند تولید لوله‌های قطور فلزی بوده است. دستگاه مذکور با استفاده از تصاویر دریافتی از دوربینی که بر روی خط تولید نصب گردیده، خطای جوش را تخمین زده و آن را بوسیله یک کنترل کننده تصحیح می‌کند. عملکرد دستگاه بر روی خط بیانگر آن است که الگوریتم مورد استفاده برای اندازه‌گیری خطا، نسبت به نویز و اغتشاش در حد قابل قبولی مقاوم است. نرم‌افزار تهیه شده برای این دستگاه، نرم‌افزاری دوره‌گه است که در تولید آن از تکنولوژی COM استفاده گردیده است.

واژگان کلیدی دستگاه جوش مارپیچ، بینایی ماشینی، تبدیل Radon، تکنولوژی COM

۱. مقدمه

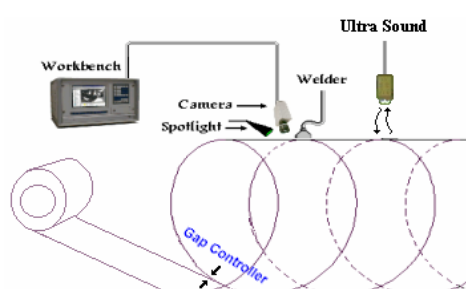
از لوله‌های قطور فلزی، اغلب برای انتقال آب، فاضلاب، نفت، گاز و ...، استفاده می‌شود و صنایع تولید این نوع محصولات از نظر اهمیت، در ردیف صنایع زیربنایی کشور قرار می‌گیرند. بدیهی است که کیفیت محصولات این صنایع بر کارکرد طرح‌های عمرانی و دیگر صنایع کشور، اثر غیرقابل اغماضی دارد. خصوصاً که کیفیت تولید از مهمترین عوامل در افزایش عمر این لوله‌ها است. مراحل تولید این لوله‌ها در کارخانه، در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل می‌بینید، در این فرآیند، ابتدا دستگاه نورد، ورق فلزی را به صورت مارپیچ خم می‌کند تا به شکل لوله درآید، سپس دستگاه جوش، درز بین دو لبه‌ی ورق را جوش می‌دهد و در پایان لوله به اندازه‌های استاندارد برش زده می‌شود. شکل ۲ بخشی از این فرآیند را نشان می‌دهد.



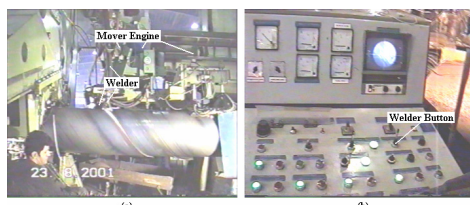
شکل ۱: مراحل تولید لوله‌های قطور فلزی.

کنترل کننده‌ای بر عملکرد دستگاه نورد و کیفیت خم شدن ورق، نظارت می‌کند. چنانچه لبه‌های ورق آنقدر به هم نزدیک شوند که در آستانه‌ی لغزیدن بر روی هم قرار گیرند و یا از یکدیگر دور شوند، کنترل کننده با جابجا کردن لوله، دو لبه را به هم نزدیک و یا از هم دور می‌کند. بنابراین با اینکه در ابتدای کار، همان جوش بر روی درز قرار می‌گیرد، اما در حین کار می‌بایست موقعیت آن تصحیح شود. در سیستم سنتی این وظیفه بر عهده‌ی متصدی دستگاه جوش است. دستگاه جوش بر روی یک سیستم متحرک سوار شده است و متصدی بوسیله‌ی کلیدی که بر روی میز کارش نصب گردیده، می‌تواند آن را به جلو یا عقب برده و به این ترتیب همان را همواره بر روی درز جوش نگاه دارد (به شکل ۳ مراجعه کنید). همانطور که در شکل ۴ می‌بینید، به فاصله کمی از همان جوش و به موازات آن (در راستای درز جوش) دوربینی قرار گرفته که خروجیش به نمایشگری بر روی میز کار، متصل شده است و می‌توان تصاویر دریافتی دوربین را بوسیله‌ی آن دید. این نمایشگر دارای قابلیت ویژه‌ای است به این

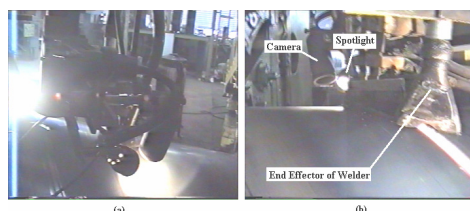
ترتیب که می‌توان بر روی صفحه‌ی نمایش آن دو خط -یکی عمودی و دیگری افقی- را به دلخواه جابجا و تنظیم نمود (نمایشگر و خطوط مذکور در شکل ۵ نشان داده شده‌اند). قبل از شروع کار -بعد از آنکه المان بر روی درز قرار گرفت- خطوط عمودی و افقی چنان تنظیم می‌شوند که محل تلاقی آنها (این نقطه را «نقطه مرکزی» می‌نامیم) بر روی درز قرار گیرد. فاصله‌ی نقطه‌ی مرکزی از درز در تصویر، متناسب است با فاصله‌ی المان جوش از درز جوش. وظیفه‌ی متصدی مذکور این است که با جابجا کردن المان جوش (با استفاده از کلید دو وضعیتی)، نقطه‌ی مرکزی را همواره بر روی درز نگاه دارد. بر روی خط، بعد از دستگاه جوش و سیستم خنک کننده، دستگاهی قرار گرفته است که با استفاده از سنسورهای مافوق صوت کیفیت جوشکاری انجام شده را بررسی می‌کند و در صورتی که المان جوش از روی درز خارج



شکل ۲: بخشی از خط تولید لوله‌های فلزی قطور.



شکل ۳: دستگاه جوش و سیستم محرک آن.



شکل ۴: (a): تصویری از دوربین، نورافکن و بازوی آن بر روی خط تولید. (b): تصویری از المان جوش و موقعیت دوربین و نور افکن نسبت به آن.



شکل ۵: نمایشگری که بر روی میز کار نصب شده است.

شده باشد با پاشیدن رنگ بر روی لوله، محل معیوب را جهت رفع عیب مشخص می‌کند. عواملی از قبیل کثیف‌بودن و یکنواخت نبودن سطح ورق‌ها و همچنین حرکت ورقه‌ی فلزی، بعلاوه سایر خطاهای انسانی سبب می‌شود که کارگر ماهر نتواند المان جوش را با دقت زیادی بر روی درز قرار دهد؛ به طوری که روزانه چند مورد خطا در کار هدایت جوش رخ می‌دهد؛ در حالی که با طراحی و ساخت یک سیستم خودکار می‌توان این وظیفه را با دقت بسیار بالایی، به صورت خودکار انجام داد. در این مقاله سیستم خودکاری که برای هدایت این دستگاه ساخته‌ایم را معرفی کرده‌ایم. بخشهای بعدی مقاله بدین شرح می‌باشند. بخش بعدی از دیدگاه کنترلی به بررسی ملزومات و مشخصات سیستم هدایت جوش می‌پردازد. در بخشهای سوم و چهارم به ترتیب نحوه آشکارسازی نقطه مرکزی و درز جوش در تصویر شرح داده شده است. بخش پنجم و ششم به شرح نرم‌افزار هدایت جوش و نتایج تجربی اختصاص یافته و در نهایت در بخشهای هفتم و هشتم نتیجه‌گیری و مراجع بیان شده‌اند.

۲. بررسی دستگاه هدایت جوش از دیدگاه تئوری کنترل

در طراحی یک سیستم اتوماسیون برای فرآیندی صنعتی، قبل از هر کار باید مشخصات و نیازهای آن سیستم را شناخت. وضعیت کلید کنترل محرک را یک PLC بررسی می‌کند. وظیفه‌ی این PLC صادر کردن فرامین لازم به محرک و کنترل موقعیت آن است. از دیدگاه تئوری کنترل، متصدی دارای دو وظیفه است. او با نگاه کردن به نمایشگر، خط^۱ را تشخیص می‌دهد که از این جهت حکم یک اندازه‌گیر را دارد و سپس بر اساس اندازه‌ی خطا و جهت آن، بوسیله‌ی کلید مذکور، فرمان مناسبی به محرک برای جبران‌سازی خطا اعمال می‌کند که از این حیث نقش یک کنترل کننده‌ی روشن-خاموش^۲ را ایفا می‌کند. هدف از ساخت سیستم خودکار هدایت جوش شبیه‌سازی عملکرد کارگر خبره است. پس در اولین گام باید بوسیله‌ی الگوریتمهای ماشین بینایی، خطای المان جوش را در تصاویری که دوربین در اختیارمان می‌گذارد اندازه‌گیری نمود. برای اینکه سیستم جدید کاملاً با سیستم سنتی سازگار باشد و میز کار متصدی تغییر نکند، تصمیم گرفته شد که تصاویر از خروجی نمایشگری که بر روی میز نصب شده است دریافت شود. شکل ۶ سیستم تصویربرداری را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشخص است، خروجی نمایشگر به یک کارت ویدئو متصل شده است و تصاویر از طریق این کارت به رایانه منتقل می‌شوند. خطا به

^۱ منظور از خطا فاصله‌ی بین درز و المان جوش است.

^۲ On-Off Controller

کمک الگوریتمهای پردازش تصویر اندازه‌گیری می‌شود که در بخشهای بعدی شرح داده شده‌اند. در گام بعدی باید کنترل‌کننده‌ای برای جبران‌سازی خطا معرفی کرد. در این سیستم از کنترل‌کننده‌ی روشن-خاموش استفاده گردیده است. نمودار بلوکی سیستم کنترل نهایی، در شکل ۷ نشان داده شده. معادله‌ی (۱) عملکرد این کنترل‌کننده را نشان می‌دهد.

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad \text{S.t.} \quad \begin{cases} c_1 = \begin{cases} 1 & \text{error direction} \equiv \text{"right"} \& \text{Error} > \text{ErrTr} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \\ c_2 = \begin{cases} 1 & \text{error direction} \equiv \text{"left"} \& \text{Error} > \text{ErrTr} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

که c_1 و c_2 خروجی‌های کنترل‌کننده و $ErrTr$ مقدار آستانه‌ی خطا است (در بخشهای بعدی درباره‌ی این پارامتر بیشتر صحبت خواهیم کرد). همانطور که می‌بینید، هرگاه قدر مطلق خطا (فاصله‌ی المان جوش از درز جوش) از یک حد آستانه بیشتر گردد، کنترل‌کننده برای تصحیح خطا، عکس‌العمل مناسبی از خود نشان خواهد داد.

۳. استخراج نقطه‌ی مرکزی



شکل ۶: سیستم تصویر برداری

همانطور که قبلاً گفته شد فاصله‌ی بین درز جوش و نقطه‌ی مرکزی در تصویر با فاصله‌ی بین المان جوش و درز جوش متناسب است؛ پس می‌توان در سیستم کنترل از یکی بجای دیگری استفاده نمود. بنابراین برای اندازه‌گیری خطا کافی است درز جوش و نقطه‌ی مرکزی را از تصویر استخراج کرد. بدیهی است که اندازه‌ی خطا متناسب است با فاصله این دو از یکدیگر.

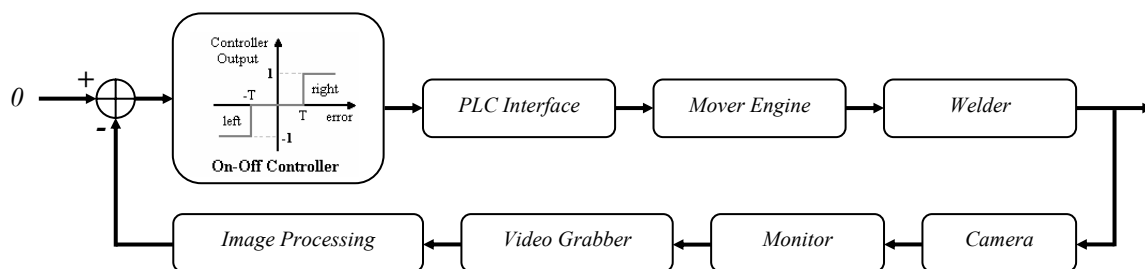
نقطه‌ی مرکزی را می‌توان با استخراج خطوط عمودی و افقی از تصویر تشخیص داد. برای محافظت از دوربین، آن را درون یک لوله سیاه قرار داده‌اند که باعث ایجاد یک ناحیه تیره در حاشیه تصویر شده است. مناسب است، برای تعیین محل این خطوط از این ناحیه تیره استفاده شود در شکل ۸ دو تصویر دریافتی از دوربین نشان داده شده است. همانطور که می‌بینید حتی زمانی که تصویر نویزی است خطوط سفید طولانی‌ترین خطوط عمودی و افقی در ناحیه‌ی تیره هستند. همچنین محل ناحیه‌ی تیره همواره در تصویر ثابت است (زیرا موقعیت لوله‌ی محافظ دوربین همواره ثابت است)؛ بنابراین می‌توان طبق الگوریتم ذیل محل این خطوط را در تصویر معین نمود:

۱. ابتدا نواحی تیره را از تصویر استخراج نمایید.

۲. با توجه به اختلاف نسبتاً زیاد سطح خاکستری زمینه با خطوط، با اعمال یک فیلتر بالاگذر لبه‌یابی مانند Sobel [1]، به آسانی می‌توان خطوط را آشکار نمود.

۳. با اعمال یک مقدار آستانه‌ی از پیش تعیین شده (مقدار مناسب برای این آستانه را می‌توان با چند مرتبه آزمایش و خطا بدست آورد) بر تصویر حاصل از لبه‌یابی، تصویری دو سطحی، شامل خطوط مورد نظر و نویز بدست می‌آید.

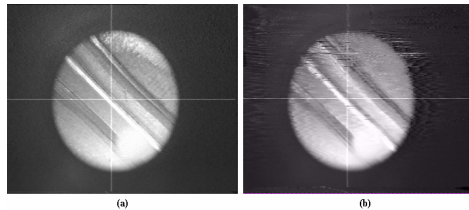
۴. برای حذف نویز و استخراج خطوط کافی است تعداد پیکسل‌های روشن تصویر دوسطحی را در هر ستون و در هر سطر شمرد. با توجه به اینکه خطوط سفید طولانی‌ترین اشیاء در تصویرند؛ پس ستون و سطری که بیشترین پیکسل را دارا هستند مشخص‌کننده‌ی محل به ترتیب خطوط عمودی و افقی و در نتیجه محل نقطه‌ی مرکزی در تصویرند.



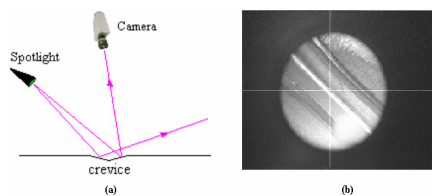
شکل ۷: بلوک دیاگرام سیستم کنترل.

۴. آشکارسازی و استخراج درز جوش

نورپردازی، یکی از بخشهای مهم هر سیستم بینایی ماشینی است. در اینجا نیز تشخیص درز نیازمند ارائه‌ی یک تکنیک نورپردازی مناسب است تا ضمن اینکه اثر تغییرات نور محیط بر روی تصویر کاهش یابد به تشخیص آن نیز کمک کند. برای تنظیم روشنایی تصویر و



شکل ۸: دو تصویر نمونه. (a) بدون نویز، (b) با نویز.

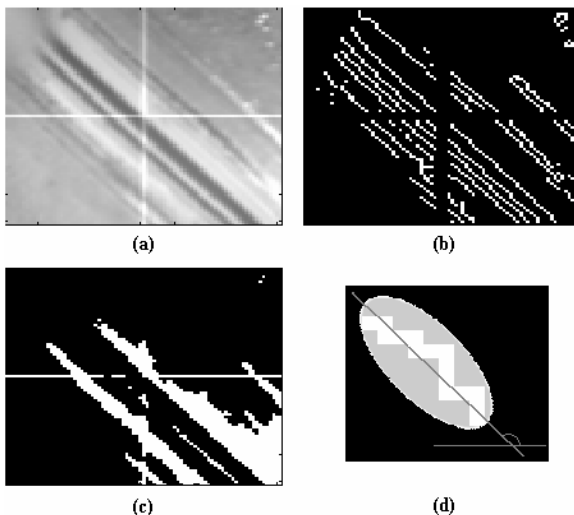


شکل ۹: (a) طرحی از سیستم نورپردازی، (b) : یک تصویر نمونه.

همچنین تشخیص آسانتر و دقیقتر درز جوش، از یک نورافکن کوچک که به صورت مایل قرار گرفته، استفاده شده است. همانطور که در شکل ۹-a می‌توان دید نورافکن به طور مستقیم، تنها یک لبه درز جوش را روشن می‌کند. بنابراین در تصویر یک لبه‌ی درز، روشن‌تر از لبه‌ی دیگر و زمینه خواهد بود. برای قرار گرفتن المان جوش بر روی درز، کافی است نقطه مرکزی بر روی لبه‌ی ناحیه‌ی روشن تصویر (شکل ۹-b را ببینید)، قرار گیرد. با اینکه در حالت ایده‌آل فرض می‌شود که نورافکن تنها یک لبه‌ی درز جوش را روشن می‌کند اما در عمل اینکار همیشه آسان نیست. به عبارت دیگر گاهی تنظیم نورافکن به طوری که تنها یک لبه‌ی درز را روشن نماید، کار مشکلی است. برای رفع این مشکل اولاً باید به جای نور نقطه‌ای از نور خطی و یکنواخت استفاده نمود تا به این ترتیب تا حد زیادی از حساسیت سیستم هدایت جوش به زاویه‌ی تابش کاسته شود و ثانیاً باید الگوریتم آشکارسازی درز جوش چنان طراحی شود که بتواند صرف نظر از زاویه‌ی تابش نور، درز را تشخیص دهد یا لاقط اینکار را با دقت زیادی انجام دهد. نسخه‌ی سوم نرم‌افزار هدایت جوش دارای چنین قابلیت‌هایی است.

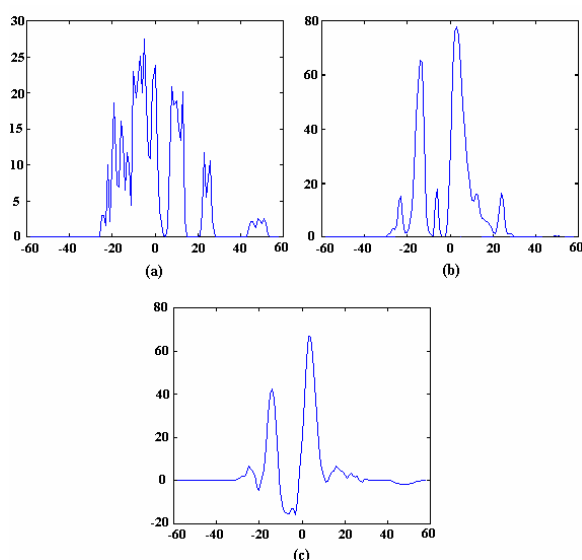
درز جوش دارای دو مشخصه‌ی اساسی است. اول اینکه در تصویر لبه‌های

تندی بوجود می‌آورد و ثانیاً نواحی اطراف آن سفید رنگ هستند. این دو مشخصه، اساس الگوریتم آشکارسازی را تشکیل می‌دهد. اندیشه‌ی اصلی این است که ابتدا در تصویر لبه‌یابی شده درز را تشخیص داده، زاویه‌ی شیب آن را محاسبه می‌کنیم و سپس در تصویری که در آن نواحی سفید رنگ تصویر آشکار شده‌اند، با استفاده از تصویر لبه‌یابی شده و نتایج بدست آمده از آن، درز را آشکار می‌کنیم. محاسبات را بر روی پنجره‌ای حول نقطه‌ی مرکزی، انجام می‌دهیم. برای لبه‌یابی از فیلتر "Sobel"، استفاده کرده‌ایم. در شکل ۱۷، یک پنجره‌ی نمونه و حاصل لبه‌یابی بر روی آن را می‌توانید ببینید. زاویه‌ی شیب تمام اشیاء این تصویر را محاسبه می‌کنیم؛ به این ترتیب که هر یک از آنها را در



شکل ۱۰: (a) یک پنجره‌ی نمونه، (b) حاصل لبه‌یابی بر روی پنجره‌ی مذکور، (c) حاصل آشکارسازی نواحی سفید، (d) محاسبه‌ی شیب یک شیء نمونه.

یک بیضی محاط کرده، زاویه‌ی قطر اصلی بیضی با راستای افق را به عنوان شیب شیء در نظر می‌گیریم. در شکل ۱۰-d، نحوه‌ی اندازه‌گیری زاویه‌ی شیب یک شیء نمونه نشان داده شده است. برای محاسبه‌ی شیب درز جوش باید میانگین شیب تمام اشیاء را محاسبه کنیم. اما این عمل وقتی صحیح است که تمام اشیاء تصویر لبه‌یابی شده مربوط به درز باشد، در حالی که همواره در تصویر لبه‌هایی وجود دارند که متعلق به درز جوش نیستند و در واقع در اثر خشدار بودن سطح فلزی ورق و وجود شیارهایی بر روی آن بوجود آمده‌اند. برای حذف اثر این اشیاء تنها زوایایی در میانگین‌گیری شرکت می‌کنند که اختلاف شیبشان تا مقداری که در فریمهای قبلی محاسبه شده بود، از یک حد آستانه کمتر باشد. برای آشکارسازی نواحی سفید درز جوش کافی است از تصویر سطح خاکستری آستانه‌گیری شود. برای انتخاب آستانه مطابق با شرایط نور محیط از روش آماری "انتخاب آستانه به صورت تکراری [2]" استفاده شده است. در شکل ۱۰-c، حاصل آستانه‌گیری از تصویر ۱۰-a، نشان داده شده است. پس از محاسبه‌ی شیب درز جوش در تصویر در راستای عمود بر این شیب



شکل ۱۱: (a) منحنی تبدیل Radon بر روی تصویر b-۱۰، (b) منحنی تبدیل Radon بر روی تصویر c-۱۰، (c) منحنی حاصل از تفاضل منحنی a از منحنی b و نرم کردن حاصل تفاضل.

از تصویر لبه‌یابی شده و تصویری که در آن نواحی سفید تصویر آشکار شده‌اند، تبدیل "Radon" [3]، [4] گرفته می‌شود. در این تبدیل در راستای عمود بر محور مینا، تعداد پیکسل‌های غیر صفر تصویر شمرده می‌شود و نتایج در یک بردار ذخیره می‌گردد (می‌توان گفت تبدیل Radon حالت خاصی از تبدیل Hough [5] است). در شکل ۱۱، منحنی‌های حاصل از اعمال این تبدیل بر تصاویر b-۱۰ و c-۱۰، نشان داده شده است. مبدأ این منحنی‌ها منطبق بر مرکز تصاویر مذکور است. برای یافتن محل درز جوش، منحنی حاصل از اعمال تبدیل بر تصویر لبه‌یابی شده را از منحنی حاصل از اعمال تبدیل بر تصویر دوسطحی شده (که در آن نواحی سفید رنگ استخراج شده‌اند) کم کرده، حاصل تفاضل را با یک فیلتر میانگین‌گیر نرم می‌کنیم. منحنی حاصل را منحنی مشخصه درز جوش می‌نامیم. با توجه به اینکه درز جوش در تصویر یک لبه‌ی تیز بوجود می‌آورد و معمولاً ناحیه‌ی سفید رنگ از آن فاصله دارد؛ پس می‌توان گفت که درز جوش در منحنی مشخصه به صورت یک مینیموم محلی ظاهر می‌شود. چون سرعت محاسبات بسیار زیادتر از سرعت رشد خطاست؛ بنابراین کافی است در هر پردازش نزدیکترین مینیموم محلی منحنی

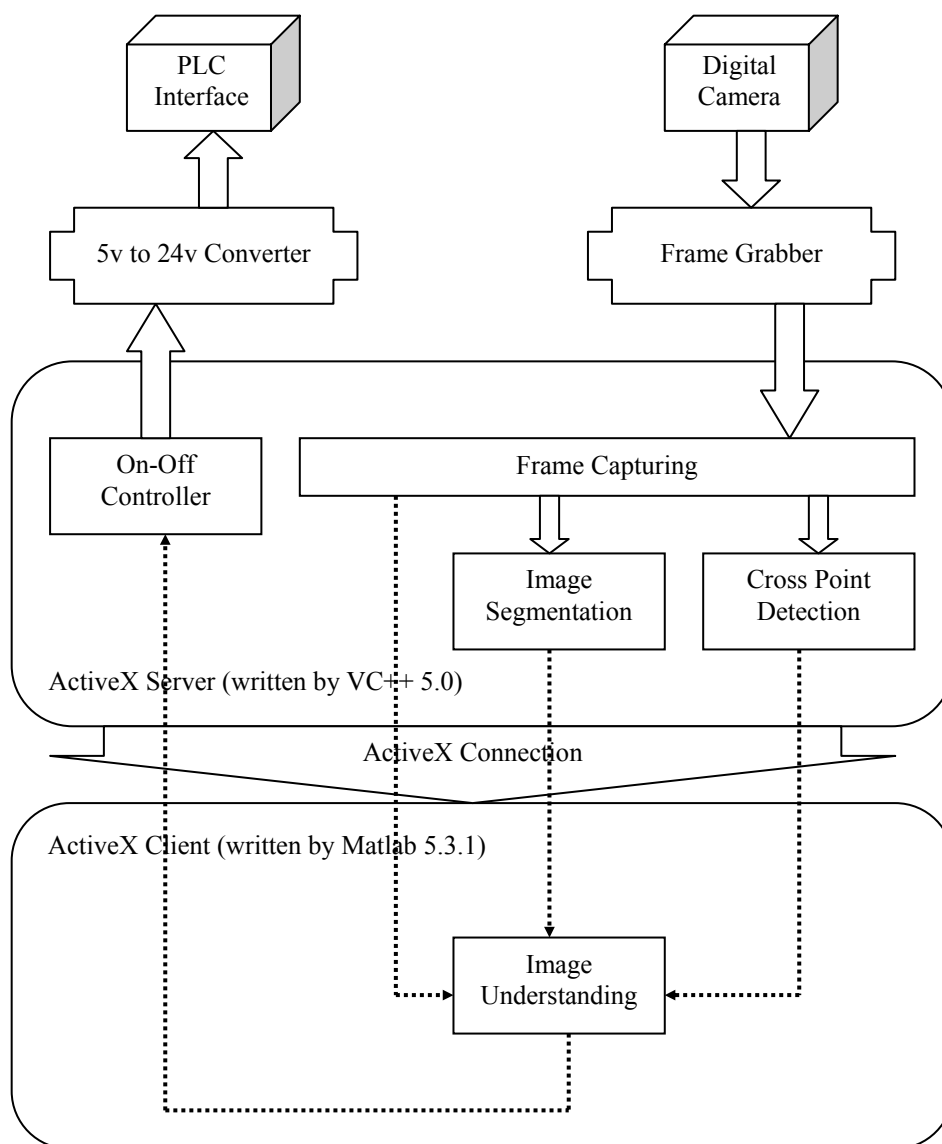
مشخصه نسبت به نقطه‌ی مرکزی را بیابیم. بدیهی است که این مینیموم محلی در واقع همان درز جوش است. در شکل ۱۱-c، منحنی مشخصه‌ی تصویر a-۱۰، نشان داده شده است. همانطور که می‌بینید درز جوش در نقطه‌ی 3- قرار دارد. با توجه به اینکه مبدأ منحنی مشخصه منطبق بر نقطه‌ی مرکزی است پس در این تصویر المان جوش به اندازه‌ی سه پیکسل به سمت راست منحرف شده است.

۵. نرم افزار هدایت جوش

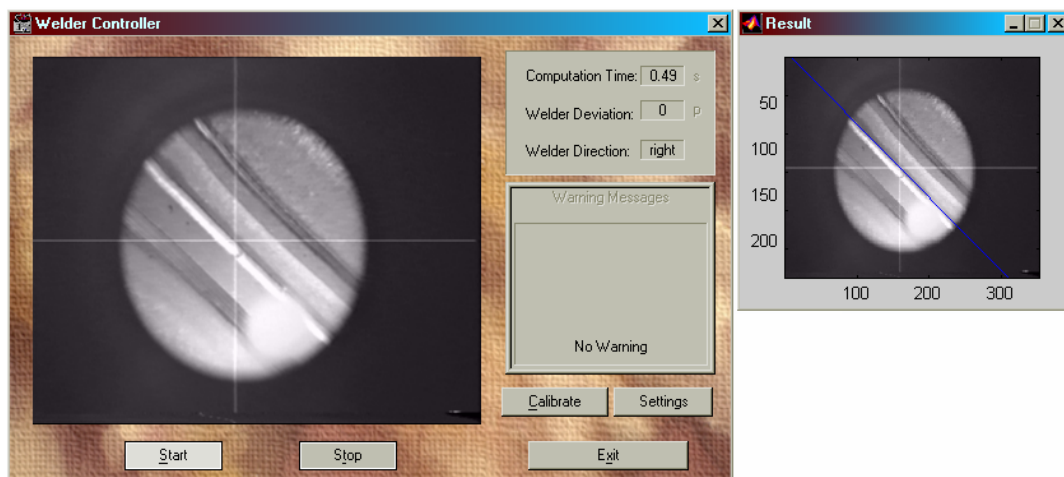
برای تحقق سیستم خودکار هدایت جوش به نرم‌افزاری تحت سیستم عامل "Windows 95/98" نیاز بود. این نرم‌افزار علاوه بر اینکه می‌بایست از تمام قدرت پردازنده و امکانات سیستم عامل، سود می‌جست، باید از قابلیت انعطاف فراوانی نیز برخوردار می‌بود تا بتوان بر راحتی و سرعت تصحیحات لازم را بر آن اعمال نمود. ما برای دستیابی به این هدف، نرم‌افزار هدایت جوش را با استفاده از نرم‌افزارهای "Microsoft Visual C++ 5.0" و "Matlab 5.3.1"، تولید کردیم. به این ترتیب که آن بخش از نرم‌افزار که نیاز به ارتباط با سخت افزار داشت و یا نیازمند حجم محاسبات زیادی بود (مانند الگوریتم‌های تقسیم‌بندی تصویر) بوسیله‌ی Visual C++ آماده کردیم و بخشی که نیاز به بازبینی داشت را بوسیله‌ی Matlab تهیه نمودیم. اتصال این دو بخش مجزا نیز با استفاده از تکنیک "ActiveX" میسر می‌شد. ActiveX که بر پایه‌ی تکنولوژی COM بنا نهاده شده است، راهی برای ارتباط نرم‌افزارهای مختلف با یکدیگر است و در حقیقت شکل پیشرفته‌ی "OLE" است [6].

در شکل ۱۲ نمودار بلوکی نرم‌افزار هدایت جوش و بخشهای مختلف آن و همچنین عملکرد هر بخش نشان داده شده است. همانطور که در این شکل می‌توان مشاهده کرد عملیات دریافت تصاویر از سخت‌افزار، قسمت‌بندی تصویر و همچنین تشخیص محل نقطه‌ی مرکزی در تصویر، توسط بخش "ActiveX Server" انجام می‌شود که بوسیله‌ی VC++ 5.0 بوجود آمده است. عملیات درک تصویر توسط بخش "ActiveX Client" نرم‌افزار انجام می‌شود. در این بخش درز جوش از تصویر استخراج شده و خطای المان جوش محاسبه می‌گردد. این خطا به نرم‌افزار خدمتگزار^۳ داده می‌شود تا کنترل‌کننده بر اساس آن، درباره‌ی جبران سازی خطا تصمیم‌گیری نماید. نرم‌افزار هدایت جوش (نسخه‌ی سوم)، در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در این نرم‌افزار، تصاویر بوسیله توابع API [7]، با دقت ۳۵۲×۳۸۸ پیکسل از کارت ویدئو دریافت می‌گردند. نرم‌افزار مذکور قادر است بر روی رایانه‌ای با پردازنده Pentium III 800 MHz سه تصویر را در ثانیه پردازش کند.

^۳ Server



شکل ۱۲: بخش‌های مختلف نرم‌افزار هدایت جوش و نحوه‌ی ارتباط آن با سنسورهای سیستم هدایت جوش.

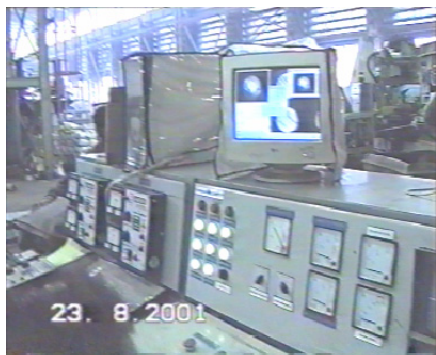


شکل ۱۳: نرم افزار هدایت جوش.

۶. نتایج تجربی

سیستم هدایت جوش، بر روی خط تولید کارخانه‌ی ایران اسپیرال اصفهان نصب گردیده است. برای انتقال داده‌ها از دوربین به رایانه از کارت “Asus, Live 3800” استفاده شد. دوربین بر روی خط تولید چنان نصب شد که دقت تصویربرداری در هر بعد تقریباً معادل 0.8 میلیمتر باشد. در بخش دوم، پارامتر $TrErr$ ، معرفی شد که بیشترین خطای قابل قبول کنترل‌کننده است. با توجه به اینکه تعداد خاموش و روشن شدنهای مجاز محرک، در واحد زمان محدود است نباید $TrErr$ خیلی کوچک باشد. از طرفی $TrErr$ خیلی بزرگ هم نباید باشد زیرا به این ترتیب از دقت دستگاه کاسته می‌شود. طبق اندازه‌گیری‌های تجربی برای $TrErr$ ، مقدار یک و نیم پیکسل را بدست آوردیم. برای بررسی عملکرد سیستم، آن را در طول سه روز و در مجموع به مدت ۱۲ ساعت مورد بررسی قرار دادیم. مشاهدات نشان داد که خطای المان جوش تنها در تقریباً ۳۱ مورد به ۳ پیکسل (در تصویر) و بیش از آن رسید که از میان آنها تنها در تقریباً ۶ مورد خطا ۵ پیکسل و بیش از آن بود.

نویز در ایجاد این خطاها نقش چندانی نداشت؛ زیرا بررسی‌ها نشان داد که به دلیل زودگذر بودن نویز و کند بودن فرآیند رشد خطا، سیستم در برابر آن بسیار مقاوم است. دو عامل سبب ایجاد چنین خطاهایی در سیستم می‌شدند. عامل اول و مهمتر، وجود ناهمواریها و پلیسه‌های بسیار بزرگ در نزدیکی لبه‌های ورق بود. این زوائد سبب ایجاد اعوجاجات بزرگی در تصویر می‌شدند که عملاً مانع از تشخیص صحیح محل درز جوش می‌گردیدند. مشاهدات نشان داد که معمولاً با وارد شدن زائده به محدوده تصویر خطای المان به شکل ناگهانی افزایش می‌یافت و بعلاوه بافت تصویر نیز به شدت تغییر می‌نمود. به کمک این دو ویژگی مهم می‌توان اعوجاج مذکور را تشخیص داده، تا خارج شدن زائده از محدوده تصویر، عملیات تصحیح خطا را متوقف نمود. اما در این حالت مشکل دیگری رخ می‌نماید و آن اینکه به علت بزرگ بودن زوائد مذکور معمولاً مدت زمان قابل ملاحظه‌ای (چندین ثانیه) طول می‌کشد تا زائده از تصویر خارج شود و در طول این مدت به علت کور بودن سیستم، خطاهای واقعی نیز تصحیح نشده، مقدار خطا بزرگ می‌شود.



شکل ۱۴: سیستم هدایت جوش.

عامل دوم وجود شیارها و خشک‌های بسیار طولانی در نزدیکی و به موازات درز جوش بود. در حالت عادی به علت ماهیت الگوریتم پیشنهادی – که المان را بر روی نزدیکترین خط نگاه می‌دارد – این خطوط چندان مشکلساز نبودند. اما اگر پلیسه‌ای بر روی درز و یا بین این شیارها و درز قرار می‌گرفت سبب مختل شدن عملکرد الگوریتم می‌شد. با وجود تلاشهای بسیار جهت رفع این دو نقیصه، نتوانستیم آنها را به طور کامل برطرف کنیم. البته لازم به ذکر است که این اعوجاجات گاه به حدی است که حتی متصدی دستگاه نیز قادر به تشخیص درز در حضور آنها نیست. هم‌اکنون، برای تصحیح این نوع خطاها، متصدی بوسیله سوییچی هدایت جوش را از حالت خودکار به حالت دستی منتقل کرده، پس از تصحیح خطا (با همان شیوه سنتی) مجدداً آن را بر روی حالت خودکار قرار می‌دهد.

۷. نتیجه گیری

بنا بر مشاهدات تجربی و به اعتراف مسؤولین کارخانه، عملکرد سیستم بر روی خط تولید رضایتبخش و قابل قبول می باشد. الگوریتم بکاررفته در سیستم در عین سادگی، دارای انعطاف کافی در تشخیص خطا است. با وجود تمهیدات ویژه ای که برای حذف اثر پلیسه ها و شیارهای ورقه ها در نظر گرفته شده، اما هنوز هم سیستم برای حذف کامل اثر آنها نیازمند کمک متصدی دستگاه است. در شکل ۱۴، سیستم هدایت جوش و میز کار متصدی دستگاه جوش نشان داده شده است.

۸. مراجع

- [1] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, New York, 1993.
- [2] J. R. Parker, *Algorithms for Image Processing and Computer Vision*, Wiley Computer Publishing, New York, 1997.
- [3] Lim, Jae S., *Two-Dimensional Signal and Image Processing*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, pp 42-45, 1990.
- [4] Bracewell, Ronald N, *Two-Dimensional Imaging*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, pp. 505-537, 1995.
- [5] M. Sonka, V.Hlavac & R.Boyle, *Image processing, analysis and machine vision*, International Thomson Computer Press, London, 1st ed, 1993.
- [6] P.E.: M. W. Zimmerman, *Microsoft Visual C++ References*, Microsoft Press, New York, 1997.
- [7] R. J. Simon, *Windows NT Win32 API SuperBible*, Mitchell Waite, New York, 1997.