انجمن آهن و فولاد ایران

سمپوزیوم فولاد ۸۸
۱۱ و ۱۲ اسفند ماه ۸۸
یزد - شرکت فولاد آلیاژی ایران

شرکت فولاد آلیاژی ایران

بازرسی اتوماتیک سطح پالت به منظور تشخیص عیوب پدید آمده در گریت‌بارها با استفاده از پردازش دیجیتالی تصویر

آیدا فولادی‌وندا[1]، *نرگس چهره‌راضی*، *رسول امیرفتاحی*، *سعید صدری*، *محمد علی منتظری*
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

در صنایع مختلف، بازرسی بصری یکی از مراحل مهم در چرخه تولید است که در بیشتر موارد این کار توسط ناظران انسانی صورت می‌گیرد. گریت‌بارها قطعات کوچک فولادی هستند که در کف زنجیر پخت گندله، در ناحیه آهن سازی بکار می‌روند. طی مراحل مختلف پخت، این گریت‌بارها از محیط‌هایی با دماهای متفاوت عبور می‌کنند (محدوده این دماها شامل دمای محیط تا ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد). به مرور زمان بر اثر دمای بسیار بالا و وجود اکسیدهای هوای محیط، گریت‌بارها تغییر شکل می‌یابند. در حال حاضر در واحد گندله‌سازی مجتمع فولاد مبارکه، نظارت بر خرابی‌های پالت‌ها توسط نیروی انسانی صورت می‌گیرد. به دلیل وجود گرما، سروصدای زیاد، آلودگی محیط و همچنین دقت پایین و خستگی ناظر انسانی جایگزین شدن یک سیستم خودکار برای تشخیص و گزارش خرابی‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر، سیستمی برای تشخیص خرابی‌ها با دقت و سرعت مناسب پیشنهاد شده است. این سیستم قادر است انواع عیوب گریت بارها را تشخیص، دسته بندی و گزارش نماید.

کلمات کلیدی: بازرسی اتوماتیک، پالت، گریت بار، پردازش تصویر، استخراج ویژگی.

[1] a.fooladivanda@ec.iut.ac.ir

مقدمه

امروزه بازرسی بصری غیر مخرب برای کشف ناهنجاری‌های موجود بر روی سطوح کاربرد زیادی در صنعت پیدا کرده است. به عنوان مثال برای سطوح مختلفی همچون چوب، کاغذ، بردهای الکترونیکی، فولاد، سیلیسیم، سرامیک، پارچه و حتی اجسام غیرتختی مانند میوه‌ها و سطح هواپیما استفاده می‌شود. در بیشتر موارد، بازرسی بصری توسط نیروی انسانی انجام می‌شود. اما یک سیستم بازرسی مکانیزه قابل اطمینان‌تر، هدفمندتر و از نظر وقت و هزینه مقرون به صرفه‌تر است.

در واحد گندله‌سازی مجتمع فولاد مبارکه۲۶۰ عدد پالت وجود دارد. هر پالت محفظه مکعب مستطیلی بزرگی، به عرض ۱۵۰ و طول ۳۶۰ سانتی متر است که با ماتریسی از گریت بارها پرشده است. ماتریس مزبور برای هر پالت دارای چهار ردیف ۹۰ تایی از گریت بارها می‌باشد. گریت بارها از جنس فولاد و به عرض۳/۵ و طول ۳۰ سانتی متر می‌باشند. پالت‌ها در خط پخت گندله ها، با سرعت ۴/۶ متر بر دقیقه در حال حرکت هستند. در شکل (۱) تصویری از دو پالت در حال چرخش نشان داده شده است. بین گریت بارها نیز فاصله مشخصی برای عبور هوا تعبیه شده است. گریت بارها به مرور زمان بر اثر دمای بسیار بالا،وجود عوامل اکسیدکننده در هوای محیط و همچنین فشار و ضربه‌ای که بر اثر ریختن گندله‌ها بر روی آن‌ها وارد می‌شود، آسیب می‌بینند و برای آن‌ها مشکلاتی بروز می‌کند، بعضی از این خرابی‌ها عبارتند از: ۱- فاصله افتادن بین گریت بارها(فاصله بین گریت بارها به حدی برسد که گندله‌ها از بین آن‌ها عبور کنند). ۲- تغییر شکل یافتن گریت بارها(تورفتگی، بالازدگی، شکستگی) که باعث عبور گندله‌ها می‌شود. ۳- افتادن یک یا چند گریت بار از پالت. شکل (۲) تصاویری از چند نوع خرابی بر روی پالت‌ها را نشان می‌دهد. خرابی‌های مزبور موجب ضرر سالیانه قابل توجهی به مجتمع فولاد مبارکه می‌گردند. بروز این مشکلات ایجاب می‌کند تا ناظری انسانی همواره حضور داشته و با مشاهده مشکل احتمالی مساله را گزارش نماید تا مسئولین مربوطه نسبت به توقف خط تولید اقدام نمایند. اما به دلیل وجود گرما، سروصدای زیاد و آلودگی شدید محیط که ناشی از وجود گازهای خطرناک و نرمه سنگ آهن می‌باشد و از طرف دیگر دقت پایین و خستگی ناظر انسانی انگیزه برای استفاده از سیستم مکانیزه احساس می‌شود.

بررسی سطوح اجسام بطور اتوماتیک یک مسئله شناخته شده است و بیش از بیست سال است که در حال تحقیق و بررسی می باشد ولی یک روش عمومی وکلی برای تشخیص خرابی‌ها بطور اتوماتیک وجود ندارد. به عنوان مثال بدناروا[1] و همکارانش [۱] از همبستگی[2] میان نمونه‌های سالم و تصویر پارچه و

[1] Bodnarova
[2] Correlation

اعمال یک حد آستانه بر روی آن برای شناسایی عیوب پارچه استفاده کردند. البهیری[1] و همکارانش [۲] برای تشخیص عیوب ورق‌شدگی، ترک، خراش، صیقلی نبودن، سوراخ و لکه بر روی سطح کاشی روشی را پیشنهاد دادند. در روش آنها بعد از برابرسازی هیستوگرام[2]، نویز زدایی و ارتقا تصویر، تصویر باینری (صفر و یک) می شود. سپس با استفاده از الگوریتم‌های کشف لبه و مورفولوژی، عیوب تشخیص داده می‌شوند. در سال ۲۰۰۴ تحقیقی توسط گانگ یو[3] و همکارانش [۳] انجام شد که در آن با استفاده از خوشه‌بندی ضرایب موجک[4] الگوریتمی پیشنهاد شد که به کمک شبکه عصبی احتمالی یا PNN خرابی‌های موجود در سطح چوب طبقه‌بندی گردید. کونتو[5] و همکارانش [۴] با استفاده از ویژگی‌هایی که از هیستوگرام باینری بدست می آیند، موفق به تشخیص و جداسازی خرابی‌های مختلف کاغذ شدند. نوید پناه و همکاران [۵] با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی MLP خرابی‌های سطح ورق فولاد در ناحیه نورد سرد مجتمع فولاد مبارکه را طبقه‌بندی کردند. شفائی و همکاران [۶] با استفاده از تکنیک‌های تشخیص لبه[6] و مورفولوژی موفق به کشف ترک‌های طولی در سطح تختال در ناحیه فولادسازی مجتمع فولاد مبارکه شدند.

در این مقاله به کمک روش‌های پردازش دیجیتال تصویر، عیوب ایجاد شده بر روی سطح پالت‌های واحد گندله‌سازی مجتمع فولاد مبارکه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این کار برای اولین بار و با هدف اتوماتیک کردن بازرسی پالت‌ها در صنایع فولاد انجام گرفته است. این سیستم قادر است در زمان کوتاه و با دقت بسیار بالایی عیوب گریت‌بارها را تشخیص داده و گزارش نماید.

روش تحقیق

برای انجام تحقیق به یک بانک اطلاعاتی از تصاویر پالت‌ها نیاز است. برای این منظور از واحد گندله‌سازی مجتمع فولاد مبارکه اقدام به تصویربرداری شد. عکسبرداری طی چند مرحله انجام شد، تا شرایط خرابی‌ها ، نویزهای محیطی و شرایط نورپردازی متفاوت باشند. بعد از بررسی مسیرحرکت پالت‌ها در چرخه پخت، مکان مناسب برای نصب دوربین و شرایط نورپردازی لازم بدست آمدند. طی این عکسبرداری‌ها مجموعاً ۳۰۳ تصویر از پالت‌ها تهیه شدند که همگی با یک دوربین عکاسی دیجیتال و با وضوح ۸ مگا پیکسل گرفته شدند.

---

[1] Elbehiery
[2] Histogram Equalization
[3] Gang Yu
[4] Wavelet
[5] Kunttu
[6] Edge Detection

تصاویر اخذ شده علاوه بر ناحیه پالت، شامل پس زمینه نیز می‌باشند. به منظور حذف پس زمینه‌های اضافی از تصاویر فوق و آشکارسازی ناحیه مربوط به پالت‌ها از روش‌های مبتنی بر یادگیری با ناظر استفاده شده است. ابتدا ویژگی‌هایی از تصویر استخراج می‌شوند. سپس ویژگی‌ها به کلاس بندی کننده‌ای که قبلاً آموزش دیده، داده شده و کلاس‌بندی کننده ناحیه مربوط به پالت را از مابقی تصویر تشخیص می‌دهد. کلاس بندی کننده مورد استفاده در این تحقیق، کلاس بندی کننده ماشین بردار پشتیبانی[1] است.

تصاویر رنگی حاوی اطلاعات بیشتری نسبت به تصاویر خاکستری می‌باشند. یکی از مراحل مهم در جداسازی[2] تصاویر رنگی انتخاب فضای مناسب رنگ است، که از روی آن ویژگی‌های رنگ محاسبه می‌شوند. بعضی از فضاهای رنگ مانند RGB، YUV، HSI ، CIEL*u*v در جداسازی تصاویر رنگی بیشتر از سایر فضاها مورد استفاده قرار گرفته اند[۷]. در این تحقیق و به منظور جداسازی تصاویر رنگی از فضای YUV استفاده شد. دلایل انتخاب فضای رنگ YUV بصورت زیر می‌باشد:

۱- مولفه روشنایی Y به رنگ وابسته نیست و با تغییر Y می توان نور تصویر را کم یا زیاد کرد(بدون آنکه رنگ اشیا در تصویر عوض شود). ۲- در فضای رنگ YUV، مولفه U نشان دهنده تفاوت میان رنگ آبی و مولفه روشنایی (Blue - Y)، و مولفه V معرف تفاوت میان رنگ قرمز و مولفه روشنایی (Red-Y) است. ۳- در فضای رنگ YUV محدوده نشان دهنده رنگ زرد فشرده‌تر از فضاهای دیگر است. رنگ تصاویر اخذ شده از پالت‌ها نیز معمولاً نزدیک به رنگ زرد است، و لبه‌ها و مرزها با رنگ تیره (معمولا سیاه) ناحیه‌ها را از یکدیگر جدا می‌کنند. بنابراین YUV فضای رنگ مناسبی در این تصاویر است[۸]. ۴- فضای رنگ YUV با یک تبدیل خطی از فضای RGB حاصل می‌شود، بنابراین، تبدیل آن مستلزم صرف زمان اندک است.

مولفه U در فضای رنگ YUV برابر با تفاضل رنگ آبی و مولفه روشنایی است. در تصاویر گرفته شده از پالت‌ها رنگ زرد بیشتر از رنگ‌های دیگر وجود دارد. می‌دانیم که رنگ آبی، مکمل رنگ زرد است، بنابراین مولفه U اطلاعات رنگ زرد را نیز در خود جای می‌دهد. در نتیجه در تصاویر گرفته شده از پالت‌ها مولفه U بیشترین اطلاعات را نسبت به دو مولفه دیگر دارد. به همین دلیل در این الگوریتم فقط از مولفه U استفاده می‌شود. مزیت استفاده از مولفه U بجای استفاده از کل فضای رنگ این است که حجم تصویر به یک سوم کاهش پیدا کرده و محاسبات کمتر می‌شود، اما در عین حال اطلاعات زیادی

[1] SVM: Support Vector Machine
[2] Segmentation

از میان نمی‌رود. همچنین مولفه U نسبت به تصویر سطح خاکستری نیز مزیت دارد، زیرا مولفه U اطلاعات بیشتری نسبت به تصویر سطح خاکستری دارد.

تبدیل موجک، یک سیگنال یا تصویر را به زیر باندهای فرکانسی‌اش تجزیه می‌کند. با توجه به لبه‌های موجود در تصویر، در اینجا از موجک هار با پنج سطح تجزیه استفاده شد که تغییرات بزرگ سیگنال را حفظ کرده و مولفه‌های فرکانس بالای آن را حذف می‌کند[۹]. با توجه به شکل ساختمانی پالت‌ها، ضرایب موجکی که در نتیجه تجزیه در راستای عمودی بدست آمده‌اند، مهم‌تر می‌باشند و سایر ضرایب شامل اطلاعات زیادی نمی‌باشند. بنابراین موجک هار را بر کانال U اعمال کرده، ضرایب سطح پنج در راستای عمودی انتخاب می‌شوند. انتگرال تصویر افقی[1] ضرایب سطح پنج در راستای عمودی، به عنوان ویژگی استخراج می‌شود. برای محاسبه انتگرال تصویر افقی، مقدار تمام پیکسل‌های هر سطر را با هم جمع کرده و هر سطر را با یک عدد نمایش می‌دهند. بردار ویژگی به طبقه بندی کننده SVM داده شده و طبقه بندی کننده با دقت ۹۴٪ ناحیه مربوط به پالت را از مابقی تصویر جدا می‌کند.

در مرحله بعد با استفاده از روش‌های بهبود کنتراست تصویر مربوط به پالت که در مرحله قبل جدا شده، ارتقا می‌یابد. سپس توسط الگوریتم نایبلک[2] که یکی از بهترین روش‌های باینری سازی محلی است، تصویر پالت صفر و یک می‌شود. با استفاده از الگوریتم‌های مورفولوژی، تصویر نویز زدایی شده و خطوط اضافی تصویر پاک شده و ناحیه بین گریت‌بارها بطور مجزا مشخص و برچسب‌گذاری[3] می‌شوند. با توجه به هندسه و شکل گریت‌بارها ویژگی‌هایی از آن‌ها استخراج می‌شود. ویژگی‌های استخراج شده از گریت‌بار عبارتند از: ۱) مساحت ۲) مرکز ثقل ۳) میانگین عرض ۴) میانگین طول ۵) ماکزیمم عرض ۶) ماکزیمم طول. گریت‌بارها ممکن است سالم و یا معیوب باشند، برای تشخیص گریت‌بارهای معیوب از SVM استفاده می‌شود. بردارهایی از ویژگی‌های معرفی شده برای تعدادی گریت بارهای سالم و معیوب به منظور آموزش به طبقه کننده SVM داده می‌شوند. در مرحله تست، برداری از ویژگی‌های هر گریت‌بار استخراج شده و به SVM داده می‌شود. بدین ترتیب گریت‌بارهای سالم از معیوب تشخیص داده می‌شوند.

نتایج و بحث

در شکل (۳) بلوک دیاگرامی از مراحل کار و در شکل (۴) نتایج اعمال مراحل مختلف الگوریتم بر روی یک تصویر نمونه نشان داده شده است. با توجه به ماهیت رنگ و همچنین وجود جزئیات با فرکانس

[1] Integral of Horizontal Projection
[2] Niblack
[3] Labeling

بالای تصاویر، از تبدیل موجک بر روی فضای رنگ YUV برای جداسازی ناحیه مربوط به پالت استفاده می‌شود(شکل ۴- ب). بدلیل وجود گرد و غبار و شرایط نورپردازی در حین عکس‌برداری تصویر مربوط به پالت نویز زدایی شده و کنتراست آن بهبود می‌یابد(شکل ۴- ج). برای جداسازی ناحیه مربوط به هر گریت‌بار، ابتدا تصویر باینری شده و به هر ناحیه مابین گریت‌بارها یک برچسب اختصاص داده می‌شود(شکل ۴- د،۴- ه). ویژگی‌های استخراج شده از گریت‌بارها به کلاس‌بندی کننده SVM داده شده و انواع عیوب دسته‌بندی می‌شوند.

نتیجه‌گیری

در واحد گندله سازی با استفاده از یک دوربین عکاسی که در بالای پالت‌ها نصب شده تصاویر اخذ شده و وارد سیستم می‌شوند. نتیجه اعمال الگوریتم توسط سیستم، با استفاده از یک واسط کاربر به اپراتور مربوطه گزارش داده می‌شود. روش ارائه شده در این تحقیق برای تشخیص خرابی‌های موجود بر روی گریت‌بارها دارای عملکرد بسیار خوبی است. این سیستم انواع خرابی‌های گریت‌بارها را تشخیص و آن‌ها را دسته‌بندی می‌نماید. در واقع برای خرابی‌های بالازدگی، شکستگی، تورفتگی و فاصله افتادن میان گریت‌بارها ویژگی‌های متمایزکننده‌ای را استخراج کرده و با استفاده از آن‌ها نوع و محل خرابی را گزارش می‌دهد. از آنجا که این روش با کمترین حجم محاسبات صورت می‌پذیرد به راحتی قابل پیاده‌سازی می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از مدیران و پرسنل ناحیه گندله‌سازی مجتمع فولاد مبارکه و نیز از کارشناسان محترم شرکت مهندسی بین‌المللی ایریسا به خاطر همکاری‌های بی‌دریغشان در انجام این طرح تحقیقاتی سپاسگزاری نمایند.

مراجع

[1] A. Bodnarova, M. Bennamoun and K. Kubik, "Defect Detection in Textile Materials Based on Aspects of the HVS", IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics, 1998, vol. 5, pp. 4423-4428.

[2] H. Elbehiery, A. Hefnawy and M. Elewa, "Surface Defects Detection for Ceramic Tiles Using Image Processing and Morphological Techniques", Transactions on Engineering, Computing And Technology, 2005, Vol. 5.

[3] G. Yu, S. V. Kamarthi and S. Pittner, "A New Cluster Based Feature Extraction Method for Surface Defect Detection", IEEE Proc. of international conference on machine learning and application, 2004, pp. 93-98.

[4] I. Kunttu, L. Lepisto, J. Rauhama and A. Visa, "Binary Histogram in Image Classification for Retrieval Purposes", Journal of WSCG, 2003, vol. 11.

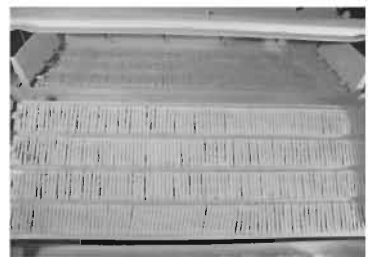
[۵] منصوره نویدپناه، رسول امیرفتاحی و محمدرضا احمدزاده، "استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به منظور طبقه بندی عیوب سطحی ورق فولاد،" سمپوزیوم فولاد ۸۴، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۴، ص ۱۰۸۴-۱۰۹۵.

[۶] مهدی شفائی ریزی و رسول امیرفتاحی، "بازرسی و دسته بندی اتوماتیک خرابی‌های سطح تختال با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر،" سمپوزیوم فولاد ۸۷، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۷، ص ۱۰۲۹-۱۰۳۶.

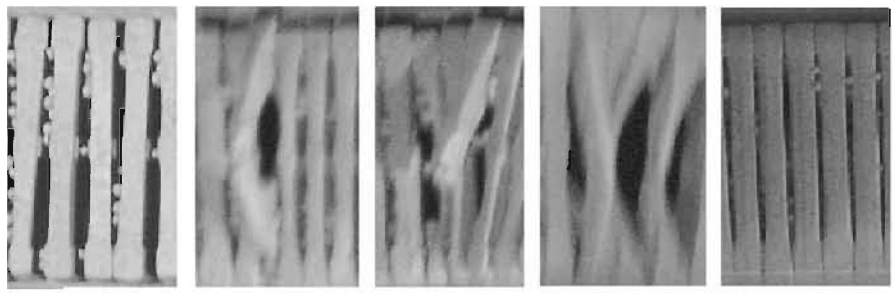
[7] H. D. Cheng, X. H. Jiang, Y. Sun and J. Wang, "Color Image Segmentation: Advances and Prospects", Pattern Recognition, 2001, Vol. 34, pp. 2259-2281.

[8] Ch. Lin, "Face Detection in Complicated Backgrounds and Different Illumination Conditions by Using YCbCr Color Space and Neural Network", Pattern Recognition Letters, 2007, Vol. 28, pp. 2190–2200.

[9] C. S. Burrus, R. A. Gopinath and H. Guo, "Introduction to Wavelets & Wavelet Transforms", 1998, New Jersey, Prentice Hall.

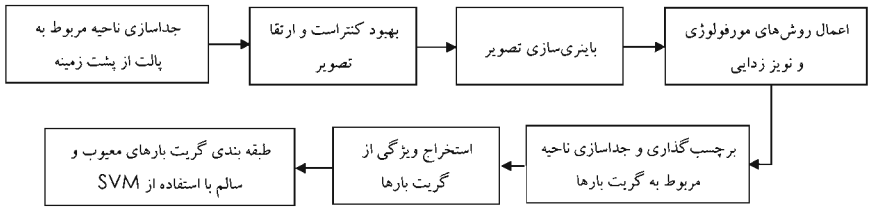


شکل ۱. تصویر دو پالت در حال چرخش در ناحیه گندله‌سازی مجتمع فولاد مبارکه.

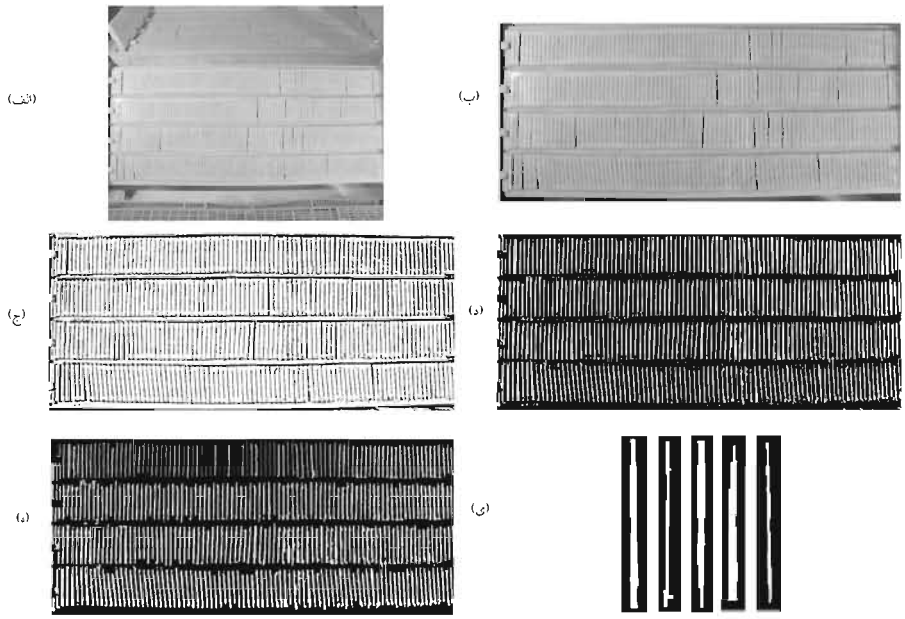


(ه) (د) (ج) (ب) (الف)

شکل ۲. چند نوع از خرابی‌های گریت بارها الف) گریت بارهای سالم ب) تورفتگی گریت‌بار ج) شکستگی گریت‌بار د) بالازدگی گریت‌بار ه) فاصله افتادن میان گریت‌بارها.



شکل ۳. بلوک دیاگرام مراحل مختلف اجرای طرح تحقیقاتی.



شکل ۴. الف) تصویر ورودی ب) تصویر مربوط به ناحیه پالت که از مابقی تصویر جدا شده
ج) ارتقا تصویر و تولید تصویر باینری د) اعمال روش‌های مورفولوژی و نویززدایی
ه) برچسب گذاری ناحیه بین گریت‌بارها ی) تصویر تعدادی از نواحی برچسب گذاری شده.