

روشی جدید به منظور آشکارسازی عیوب در تصاویر اخذ شده از روکش چوب: بهینه سازی تابع انرژی روی تصویر حاصل از حذف طرح و نقش طبیعی

چکیده

در این مقاله یک روش جدید برای آشکارسازی عیوب سطح چوب به منظور تعیین کیفیت آن ارائه می‌گردد. در این روش ابتدا تفکیک عیوب از پس زمینه طبیعی روکش چوب در قالب یک مساله آزمون فرض‌های تصادفی مدل می‌شود. در گام بعدی طرح و نقش طبیعی روکش چوب با استفاده از مفهوم ریخت شناسی حذف می‌گردد. سرانجام مرزهای صحیح عیوب به کمک بهینه سازی تابع انرژی بر روی تصویر همگن شده فوق، استخراج می‌گردند. عملکرد روش پیشنهادی با آزمودن آن بر روی تصاویر واقعی که شامل عیوب سطحی مختلفی هستند، ارزیابی می‌شود. نتایج حاصله نشان می‌دهند که روش پیشنهادی عیوب را حدوداً ۱۸ درصد بهتر از روش‌های ارائه شده دیگر آشکار می‌نماید. همچنین ملاحظه می‌شود که انجام آشکارسازی بهتر در روش پیشنهادی نه تنها موجب استخراج عیوب نادرست بیشتری نمی‌شود، بلکه نرخ آشکارسازی غلط را نیز حدوداً ۸/۲ درصد در مقایسه با روش‌های موجود کاهش می‌دهد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روش پیشنهادی این مقاله می‌تواند به عنوان یک جایگزین مناسب برای روش‌های فعلی در کاربرد آشکارسازی عیوب سطوح روکش چوب مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آشکارسازی عیب، تصاویر روکش چوب، آزمون فرض‌های تصادفی، طرح و نقش طبیعی، تابع انرژی.

سید وهاب شجاع الدینی^{۱*}
رسول کسب گر حقیقی^۲

^۱ استادیار پژوهشکده برق و فناوری اطلاعات، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران
^۲ کارشناس ارشد، پژوهشکده برق و فناوری اطلاعات، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:
shojadini@irost.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۲۴

مقدمه

تشخیص عیوب در تولیدات صنایع چوب به دلیل ارزیابی کیفیت سطوح روی چوب و تعیین قیمت این محصولات دارای اهمیت بالایی می‌باشد [۱]. همه عواملی که استحکام چوب را برای استفاده در کاربردهای به خصوص محدود کند، عیب چوب نامیده می‌شوند. این

عیوب براساس جنس و رویش سالیانه چوب می‌توانند مختلف باشند که در این میان دو دسته گره‌های زنده و مرده از مهم ترین عیوب روی این سطوح به شمار می‌آیند [۲]. بافت سطوح چوب و عیوب روی آن به دلیل داشتن رنگ و طرح‌های مختلف با یکدیگر تفاوت دارند. همچنین برخی گره‌ها روی سطح چوب مانند گره‌های زنده به خاطر

دیگری روش‌های مبتنی بر رشد ناحیه به عنوان راه حل به منظور استخراج عیوب سطح چوب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این روش‌ها ابتدا تعدادی پیکسل از ناحیه معیوب روی چوب انتخاب شده و سپس این نواحی رشد داده می‌شوند تا تمام ناحیه معیوب را در بر گیرند [۱۴]. مهم‌ترین مشکل این روش، تعیین صحیح پیکسل‌های اولیه از نقاط معیوب برای رشد می‌باشد. زیرا در صورت انتخاب نادرست این پیکسل‌ها، ضایعه روی سطح به درستی تعیین نمی‌شود [۳]. گروه دیگری از روش‌ها براساس خوشه بندی روی تصویر عمل می‌کنند. به گونه ای که مجموعه نقاطی که از نظر اندازه، مقداری نزدیک به هم دارند، به عنوان یک خوشه در نظر گرفته شده و از آن‌ها برای آشکارسازی عیوب چوب استفاده می‌شود. در این روش‌ها معیارهای مختلفی برای انتخاب اندازه مناسب برای تشکیل نواحی جدا از هم وجود دارد که در برخی از موارد به دلیل نزدیک بودن نواحی، انتخاب اندازه مناسب برای جدا کردن خوشه‌ها بسیار مشکل است [۳]. اگرچه بعضی از این روش‌ها از دقت قابل قبولی در آشکارسازی عیوب برخوردار هستند ولی استفاده از آن‌ها با محدودیت‌هایی مانند قرار گیری در دام کمینه‌های محلی و تنظیم پارامترهای اولیه مدل همراه است [۱۱، ۱۵].

در این مقاله روشی جدید برای آشکارسازی و تعیین محدوده عیوب روی سطح چوب پیشنهاد می‌شود که براساس بهینه سازی انرژی روی سطح همگن سازی شده چوب عمل می‌نماید. در این روش ابتدا با استفاده از ماسک حاصل از لبه‌های احتمالی، تصویر اولیه به کمک عملگرهای مورفولوژیکی به نسخه همگنی تبدیل می‌شود تا اثر طرح و نقش‌های متنوع روی سطح چوب به حداقل برسد. سپس تابع انرژی نهایی برای تصویر مزبور تشکیل شده و با بهینه سازی آن، مرز بین عیب و بافت چوب استخراج می‌گردد. در این روش، استفاده از هموارسازی رگه‌ها موجب می‌شود که الگوریتم بهینه سازی انرژی با عوامل مولد خطای کمتری مواجه بوده و براین اساس مرز بهتری را حول و حوش عیب احتمالی بدست دهد. ساختار مقاله به فرم زیر است. در بخش دوم این مقاله، مدل ریاضی روش پیشنهادی با استفاده از آزمون فرض‌های تصادفی مطرح می‌شود. سپس روش هموار سازی بافت طبیعی چوب توسط عملگرهای مورفولوژیکی ارائه شده و عیب توسط بهینه سازی تابع انرژی پس از حذف بافت‌های طبیعی فوق، حاصل می‌شود.

نقشی که به سطح چوب می‌دهند باعث برتری این نوع سطوح می‌شوند. در انتها براساس نوع و تعداد عیوب مزبور، امکان استفاده آنها در کاربردهای مختلف چوب مانند درجه بندی خودکار الوار، تشخیص توزیع عیوب روی سطح و اصلاح سطح چوب [۳] تعیین شده و با توجه به نیازهای موجود، در فرآیند تولید قرار می‌گیرند [۴].

در گذشته از روش‌های چشمی برای تشخیص عیوب روی سطح چوب استفاده می‌شده است که محدودیت‌هایی نظیر آموزش کاربر انسانی ماهر، خطای ناشی از خستگی کاربر انسانی و کاهش تولیدات را با خود به همراه داشته است [۵]. بر این اساس در سالیان اخیر روش‌های خودکار بدین منظور جایگزین گردیده‌اند که در این روش‌ها ابتدا تصاویری از قطعه مورد نظر اخذ شده و سپس طی مراحل پیش پردازش تصویر، قطعه بندی^۱، شناسایی و نهایتاً طبقه بندی عیوب^۲، اطلاعاتی از عیوب احتمالی چوب به دست می‌آید [۶]. در فرآیند فوق، مرحله آشکارسازی عیوب نقش تعیین کننده ای را برای تصمیم گیری درست ایفا می‌کند [۷]. مهم ترین چالش در مرحله آشکارسازی عیوب چوب، فقدان یکنواختی روی سطح چوب، تنوع بافت سطوح چوبی، عیوب شبیه بافت و تعیین مقاومت در سطوح چوب می‌باشد [۸]. بر این اساس روش‌های مختلفی برای آشکارسازی عیوب روی سطح چوب ارائه شده‌اند [۹]. آستانه گذاری براساس نقاط محلی و سراسری یکی از روش‌های استفاده شده برای آشکار سازی عیوب روی چوب است که سادگی در اجرا و محاسبات باعث استفاده گسترده آن در تصاویر چوب شده است. به دلیل تنوع در بافت سطوح چوب، تعیین مقدار آستانه اولیه در این سطوح خیلی مشکل می‌باشد و به همین دلیل در این روش‌ها، عیب به طور مناسب از سایر نواحی مجزا نمی‌شود [۹، ۱۰]. دسته دیگری از روش‌ها براساس پایش تغییر شدت بین پیکسل‌های مجاور هم عمل می‌کنند که به عنوان مثال می‌توان به روش‌های ماسک گرادیان قطبی، انتروپی شیوزاکی و روش‌های متعارف لبه گیری اشاره نمود [۹، ۱۱]. در این روش‌ها به دلیل حساسیت زیاد به نویز به دست آوردن مقدار دقیق و مشخصی از عیب روی سطح مشکل می‌باشد که در نتیجه بعضی از لبه‌های عیب روی چوب به دست نیامده و یا به صورت نادرست تعیین می‌شوند [۱۲، ۱۳].

¹ Segmentation

² Defect Classification

شوند. بنابراین روش تکمیلی گفته شده در ادامه متن برای حذف اینگونه لبه‌ها به کار برده می‌شود [۱۶].

$$\begin{cases} I'_{mr} = I_{mr} & \max(\nabla^2 I) > m \times r \times \xi \\ I'_{mr} = 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

رابطه اخیر شبه تصویر I' را به گونه ای به دست می‌دهد که فقط شامل نقاطی است که شانس بیشتری برای لبه بودن دارند. اکنون به منظور حذف لبه‌های اضافی و تعیین دقیق تر محل‌های عیوب روی سطح چوب، عملگر اتساع با استفاده از ماسک W که اعضای آن طبق رابطه (۴) تعریف می‌شوند بر روی تصویر اصلی اعمال می‌شود.

$$\begin{cases} W_{mr} = 1 & I_{mr} > \frac{\sum_m \sum_r I'}{m \times r \times \xi \times \max(I')} \\ W_{mr} = 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

سپس طبق رابطه (۵) اتساع روی تصویر پیاده سازی می‌شود که در این رابطه \oplus بیانگر عملگر اتساع می‌باشد [۱۷].

$$\Gamma(I) = (I \oplus W) \cap I \quad (5)$$

رابطه (۶) نشان می‌دهد که این اتساعات تا به دست آمدن $\Gamma^{(n)}(I)$ ادامه می‌یابد که تصویر نهایی به دست آمده از اتساعات متوالی می‌باشد.

$$\Gamma^{(n)}(I) = \Gamma[\Gamma[\dots\Gamma[I]]] \quad (6)$$

در تصویر $\Gamma^{(n)}(I)$ بافت‌های ناهمگن و گوناگون روی چوب که به صورت رگه‌های ناپیوسته هستند به صورت یک بافت همگن در آمده و در ادامه طبق رابطه (۷) با کم کردن تصویر دارای بافت‌های همگن از تصویر سطح خاکستری اصلی می‌توان تصویر بازسازی شده را به منظور تشخیص عیب روی سطح چوب به دست آورد [۱۷]. در تصویر I'' بافت‌های مختلف روی سطح چوب از تصویر حذف شده و نواحی احتمالی عیب روی سطح چوب باقی می‌مانند. لذا در ادامه می‌توان محدوده دقیق عیوب موجود در این تصویر را به طرز دقیق تری تعیین نمود [۱۸، ۱۹].

$$I'' = I - \Gamma^{(n)}(I) \quad (7)$$

در بخش سوم، روش پیشنهادی پیاده سازی و بر روی بانک دادگانی از تصاویر چوب که دارای عیوب مختلفی هستند، آزموده می‌شود. در بخش چهارم نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی با سایر روش‌های مطرح در این زمینه به کمک پنج معیار مختلف، مقایسه می‌شود. بخش پایانی مقاله به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

مدل ریاضی

تصویر I که از یک نمونه چوب یا الوار مورد مطالعه، اخذ شده است را در نظر بگیرید که برای هر پیکسل از آن داریم:

$$\begin{aligned} I_{mr} &= I(m, r) \\ 1 \leq m \leq M, \quad 1 \leq r \leq R \end{aligned} \quad (1)$$

که I_{mr} شدت روشنایی سطح خاکستری پیکسلی است که در سطر m و ستون r از تصویر I قرار گرفته است. M و R نیز به ترتیب ابعاد افقی و عمودی این تصویر هستند. به منظور تفکیک عیوب احتمالی موجود از بافت سالم چوب در این تصویر لازم است که تعلق I_{mr} را به عیب یا بافت سالم چوب تعیین کنیم. برای این کار طبق آزمون فرض‌ها، رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$\begin{cases} H_0: & I_{mr} = |g_{mr} + n_{mr}| \\ H_1: & I_{mr} = |a_{mr} + g_{mr} + n_{mr}| \end{cases} \quad (2)$$

در رابطه فوق H_0 تعلق پیکسل مورد نظر را به بافت سالم چوب و فرض H_1 تعلق همین پیکسل را به عیب احتمالی نشان می‌دهند. همچنین a_{mr} ، g_{mr} و n_{mr} نیز به ترتیب مولفه‌های مربوط به عیب، بافت چوب و نویز را در این پیکسل از تصویر نشان می‌دهند. اولین گام برای آشکارسازی عیب، استخراج لبه‌ها است ولی تغییرات شدت روشنایی در سطوح چوبی از سوئی و وجود نویز در تصاویر از سوئی دیگر موجب می‌شوند که پس از این مرحله، همچنان در تصویر حاصله دارای لبه‌های اضافی باشیم. رابطه (۳) با استفاده از بیشینه پیکسل‌های تصویر می‌تواند آستانه ای را به منظور حذف برخی لبه‌های اضافی فوق‌الذکر به دست دهد. اما نکته قابل توجه قوی بودن (شدت روشنایی بیشتر) برخی لبه‌های مزبور در تصویر می‌باشد که باعث می‌شود که با لبه‌های واقعی عیوب اشتباه گرفته

$$H_\varepsilon(\chi) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\chi}{\varepsilon} + \frac{1}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\chi}{\varepsilon}\right) \right] & \chi \leq \varepsilon \\ 1 & \chi > \varepsilon \\ 0 & \chi < -\varepsilon \end{cases} \quad (15)$$

تابع انرژی $K_c(\chi)$ توسط انتگرال خطی c محاسبه می‌شود که این تابع در لبه‌های ضایعه سطح چوب کمترین مقدار را ایجاد می‌کند [۲۰]. تابع انرژی $\gamma_c(\chi)$ بر روی ناحیه $\chi(s) < 0$ عمل کرده و زمانی این تابع اهمیت می‌یابد که کانتور اولیه از مرزهای عیب دور باشد. در این مورد، داخل مرزهای عیب صفر و بیرون از آن مثبت در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در صورتی که مرزهای اولیه بیرون عیب در نظر گرفته شود، ضریب λ مثبت می‌باشد. این مرزهای اولیه در نظر گرفته شده به تدریج کوچک شده و تا صفر شدن ادامه می‌یابد [۲۳، ۲۲]. با جاگذاری روابط (۱۲) الی (۱۵) در رابطه (۹) و با توجه به تعریف ناحیه s که در بالا انجام شد، انرژی توسط رابطه (۱۶) به شرح زیر به دست می‌آید.

$$E_\varepsilon(\chi) = \alpha \int_{I''} p(|\nabla\chi|) dS + \beta \int_{I''} c \delta_\varepsilon(\chi) \nabla\chi dS + \lambda \int_{I''} c H_\varepsilon(-\chi) dS \quad (16)$$

این انرژی توسط شار گرادیان رابطه (۱۷) می‌تواند کمینه شود.

$$\frac{\partial\chi}{\partial t} = \alpha \cdot \text{div}(\theta_p(|\nabla\chi|)\nabla\chi) + \beta \delta_\varepsilon(\chi) \cdot \text{div}\left(c \frac{\nabla\chi}{|\nabla\chi|}\right) + \lambda c \delta_\varepsilon(\chi) \quad (17)$$

در رابطه (۱۷)، $\text{div}(\cdot)$ عملگر دیورژانس و θ_p به صورت رابطه (۱۸) در نظر گرفته می‌شود. همچنین $p'(|\nabla\chi|)$ مشتق تابع $p(|\nabla\chi|)$ است که قبلاً در رابطه (۱۱) معرفی شده است.

$$\theta_p(|\nabla\chi|) = \frac{p'(|\nabla\chi|)}{|\nabla\chi|} \quad (18)$$

ترکیب روابط (۲) و (۱۷)، رابطه نهایی (۱۹) را برای تعیین محدوده دقیق عیوب روی سطح چوب به دست

در ادامه، تصویر I'' که اثر بافت‌های طبیعی سطح چوب در آن به حداقل رسیده است، تحت عملگر استخراج مرز به فرم رابطه (۸) قرار می‌گیرد. در این رابطه D_σ تابع گوسین با انحراف معیار σ بوده و کانولوشن $\nabla D_\sigma * I''^2$ به عنوان فیلتر هموارساز برای کاهش نویز می‌باشد. این آشکار ساز معمولاً اندازه کمتری در اطراف لبه نقاط معیوب ایجاد می‌کند [۲۰].

$$c = \frac{1}{1 + \nabla D_\sigma * I''^2} \quad (8)$$

سپس χ به عنوان بخشی از سطح روی تصویر I'' در نظر گرفته شده و تابع انرژی به صورت رابطه (۹) روی آن تعریف می‌شود [۲۱، ۲۰].

$$E(\chi) = \alpha L_p(\chi) + \beta K_c(\chi) + \lambda \gamma_c(\chi) \quad (9)$$

که در این رابطه $\alpha > 0$ یک مقدار ثابت در نظر گرفته شده و $L_p(\chi)$ طبق رابطه (۱۰) به دست می‌آید:

$$L_p(\chi) = \int_{I''} p(|\nabla\chi|) dX \quad (10)$$

عبارت $p(|\nabla\chi|)$ در رابطه فوق به عنوان تابع پتانسیل طبق رابطه (۱۱) در نظر گرفته می‌شود:

$$p(|\nabla\chi|) = \frac{1}{2} \int_{I''} (|\nabla\chi| - 1)^2 dX \quad (11)$$

توابع $K_c(\chi)$ و $\gamma_c(\chi)$ نیز در قالب روابط (۱۲) و (۱۳) روی تصویر I'' تعریف می‌شوند:

$$K_c(\chi) = \int_{I''} c \delta(\chi) \nabla\chi dX \quad (12)$$

$$\gamma_c(\chi) = \int_{I''} c H(-\chi) dX \quad (13)$$

در روابط اخیر، $\delta(\cdot)$ و $H(\cdot)$ توابع دیراک و هویساید بوده و توسط عبارات هموار ساز (۱۴) و (۱۵) تخمین زده می‌شوند.

$$\delta_\varepsilon(\chi) = \begin{cases} \frac{1}{2\varepsilon} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi\chi}{\varepsilon}\right) \right] & \chi \leq \varepsilon \\ 0 & \chi > \varepsilon \end{cases} \quad (14)$$

به درستی به دست نیامده است. همچنین عیبی اضافی بر روی تصویر به دست آورده است. در شکل (۱-ج) روش رشد ناحیه به همین منظور روی تصویر اعمال شده است که علاوه بر اینکه یکی از عیوب تشخیص داده نشده، محدودهٔ عیب تشخیص داده شده نیز به درستی تعیین نگردیده است. روش پیشنهادی در شکل (۲-د) بر روی تصویر پیاده سازی شده است که در آن محل و محدودهٔ عیوب روی سطح چوب به درستی تعیین شده است.

یکی از ملاک‌های بررسی عملکرد هر روش تشخیص عیب، آن است که علاوه بر استخراج عیوب، چنانچه سطح مورد بررسی فاقد عیبی بود نیز بتواند این موضوع را تشخیص دهد. به همین منظور در شکل (۳) نمونهٔ دیگری از اجرای روش‌ها بر روی یک تصویر بدون عیب گره نشان داده شده است. در شکل‌های (۳-ب) و (۳-ج) به ترتیب نتیجهٔ حاصل از پیاده سازی روش‌های GLCM و رشد ناحیه نشان داده شده‌اند. با توجه به تنوع بافت و غیریکنواختی نمونه‌های مورد بررسی در این تصاویر، ناحیه‌هایی به اشتباه به عنوان عیب در نظر گرفته می‌شوند. در شکل (۳-د) نتیجه حاصل از اعمال روش این مقاله ملاحظه می‌شود که مرزی به اشتباه به دست نیامده و سالم بودن چوب مورد بررسی مشخص گردیده است.

برای ارزیابی کمی، نتایج به دست آمده از روش‌های مذکور با نتایج حاصل از بررسی ناظر انسانی مقایسه می‌شود به این صورت که نرخ آشکارسازی صحیح^۳ (TPR) طبق رابطه (۲۰) حاصل می‌شود.

$$TPR = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad (20)$$

که در رابطه اخیر TP نشان دهندهٔ تعداد عیوبی هستند که به درستی آشکار شده‌اند^۴ و FN نیز بیانگر عیوبی است که از دست رفته‌اند^۵. به همین ترتیب براساس نرخ آشکارسازی غلط^۶ (FPR)، رابطه (۲۱) حاصل و به عنوان معیار دوم مقایسه‌ها در نظر گرفته می‌شود.

می‌دهد که تعلق هر پیکسل از تصویر به یکی از فرضیات اولیه را نتیجه می‌دهد.

$$\begin{cases} H_0 : I_{mr} \notin \chi \rightarrow I_{mr} = |g_{mr} + n_{mr}| \\ H_1 : I_{mr} \in \chi \rightarrow I_{mr} = |a_{mr} + g_{mr} + n_{mr}| \end{cases} \quad (19)$$

نتایج و بحث

روش پیشنهادی با استفاده از نرم افزار Matlab 2012 بر روی مجموعه ای از تصاویر روکش چوب پیاده سازی گردید. مجموعه دادگان شامل ۲۰۰ تصویر از روکش چوب دارای سطوح بافت و رنگ‌های متفاوت بوده است که این ۲۰۰ تصویر شامل انواع گره شکسته، گره زنده و گره لبه بوده‌اند. لازم به ذکر است که تصاویر مزبور از مرجع [۲۴] گردآوری شده‌اند. مشخصات این تصاویر و عیوب مربوطه در جدول (۱) آورده شده است. برای بررسی بهتر عملکرد روش پیشنهادی، از میان تکنیک‌های موجود دو روش ماتریس هم رخداد سطح خاکستری^۱ (GLCM) و رشد ناحیه^۲ نیز پیاده سازی شدند که در ادامه مقایسه میان نتایج آن‌ها و روش پیشنهادی صورت می‌پذیرد.

شکل (۱) نمونه ای از اجرای این روش‌ها را بر روی تصویر دارای ضایعهٔ گره نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود در شکل (۱-ب) نتیجه حاصل از اعمال GLCM نشان داده شده است. در این روش اگرچه وجود عیب روی چوب مشخص شده ولی ناحیهٔ دقیقی از محدودهٔ آن به دست نیامده است. در شکل (۱-ج) تلاش شده است نواحی معیوب به کمک روش رشد ناحیه استخراج شوند و لیکن محل ناحیهٔ معیوب روی سطح چوب تشخیص داده نشده است. نتیجه حاصل از روش پیشنهادی در شکل (۱-د) نشان داده شده است که علاوه بر تعیین درست محل ناحیهٔ معیوب، لبه‌های ضایعهٔ روی سطح چوب هم به درستی مشخص شده است.

به منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی بر روی سطوحی که دارای چند عیب هستند، شکل (۲) نمونهٔ دیگری از اجرای روش‌ها را بر روی تصویر دارای دو ضایعهٔ گره نشان می‌دهد. در شکل (۲-ب) نتیجه حاصل از اعمال GLCM نشان داده شده است. که اگرچه هر دو عیب روی چوب مشخص شده ولی محدوده‌های این عیوب

¹ Gray Level Co-occurrence Matrices

² Region Growing

³ True Positive Rate

⁴ True Positive

⁵ False Negative

⁶ False Positive Rate

جدول ۱- پارامترهای تصاویر و عیوب روکش چوب

توضیح	پارامترهای چوب	توضیح	پارامترهای تصویر
سوزنی برگ و پهن برگ	انواع چوب	۲۰۰ تصویر	تعداد تصاویر آزمایش شده
۴۷/۱۶	حداقل و حداکثر طول عیوب (پیکسل)	٪۲۸	کانتراست متوسط
۳۱/۸	حداقل و حداکثر عرض عیوب (پیکسل)	۴۸۰*۵۲۰	ابعاد تصویر (پیکسل)

در شکل (۴) منحنی ROC حاصل از روش‌های پیشنهادی و رقیب نشان داده شده است. که نحوه تغییرات آشکارسازی صحیح عیوب را برحسب نرخ آشکارسازی غلط نشان می‌دهد. برای تفسیر بهتر این منحنی در یک مرحله مقدار $TPR = ۹۰\%$ به عنوان آستانه آشکارسازی قابل قبول در نظر گرفته و براین اساس جدول (۲) حاصل شده است. این جدول نشان می‌دهد که روش پیشنهادی کمترین مقدار FPR را در مقایسه با دو روش دیگر به دست آورده است. در حالی که در دو روش دیگر به دلیل حساسیت به طرح و نقش متنوع و تنوع بافت سطوح چوب نرخ آشکارسازی ناصحیح بیشتر به دست آمده است.

دقت و صحت تعیین عیوب نیز که برای تعیین صحت کلی عملکرد روش‌ها دارای اهمیت زیادی می‌باشد در این حالت برای روش پیشنهادی بیشترین مقدار را دارد. همچنین صحت آشکارسازی عیب در روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌ها قابل توجه است که نشان می‌دهد نواحی معیوب سطح چوب به طور دقیق تری تعیین شده‌اند. در گونه دیگری از تحلیل بر روی منحنی ROC، حداکثر نرخ آشکارسازی ناصحیح برابر با ۱۰٪ در نظر گرفته شده و TPR متناظر، طبق جدول شماره (۳) حاصل شده است. چنانکه مشاهده می‌شود به موازات افزایش FPR، اندازه TPR نیز به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا کرده است.

$$FPR = \frac{FP}{(FP+TN)} \quad (21)$$

که در رابطه اخیر FP نشان دهنده تعداد عیوبی است که به غلط آشکار شده‌اند^۱ و TN نیز بیانگر مواردی است که شبیه عیب بوده و به درستی آشکار نشده‌اند.^۲ معیار سوم براساس دقت^۳ (P) هر یک از روش‌ها برای آشکارسازی عیوب طبق رابطه (۲۲) بیان می‌شود.

$$P = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad (22)$$

همچنین صحت^۴ (A) به عنوان معیار چهارم در نظر گرفته شده و برای ارزیابی روش‌ها طبق رابطه (۲۳) محاسبه می‌گردد [۲۵].

$$A = \frac{TP+TN}{(TP+FP+TN+FN)} \quad (23)$$

سرانجام صحت آشکارسازی عیب^۵ (DA) به عنوان معیار پنجم براساس آشکارسازی پیکسل‌های عیب بر روی تصویر طبق رابطه (۲۴) محاسبه می‌شود.

$$DA = \frac{NDTP}{TNDP} \quad (24)$$

که در رابطه اخیر NDTP نشان دهنده پیکسل‌های صحیح تعلق داده شده به ناحیه معیوب^۶ توسط الگوریتم و TNDP بیانگر کل پیکسل‌های اصلی ناحیه معیوب می‌باشد^۷ [۱۳].

¹ False Positive

² True Negative

³ Precision

⁴ Accuracy

⁵ Defect Accuracy

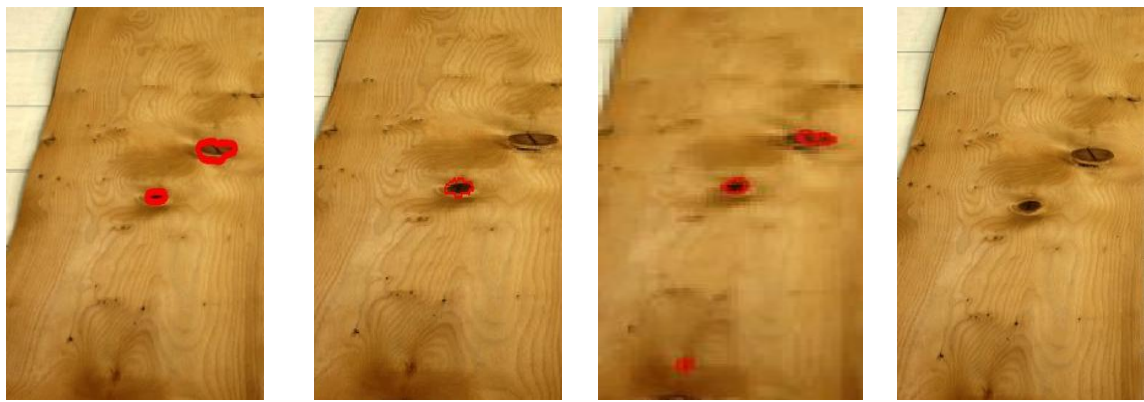
⁶ The Number Of Detected True Pixels

⁷ The Total Number Of Defect Pixels



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۱- نتایج حاصل از آزمودن روش‌ها (الف) تصویر روکش چوب دارای ضایعه گره (ب) نتیجه حاصل از GLCM (ج) نتیجه حاصل از روش رشد ناحیه (د) نتیجه حاصل از روش پیشنهادی



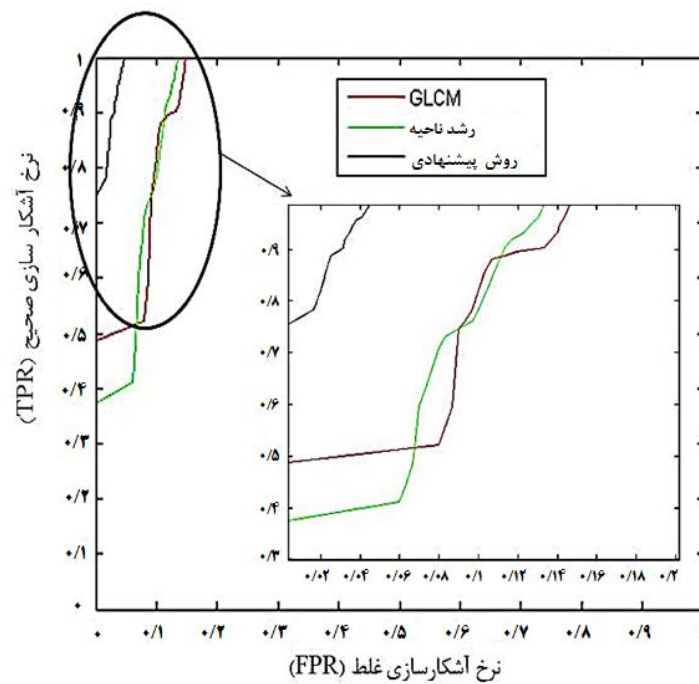
(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۲- نتایج حاصل از آزمودن روش‌ها (الف) تصویر روکش چوب به همراه دو ضایعه گره (ب) نتیجه حاصل از GLCM (ج) نتیجه حاصل از روش رشد ناحیه (د) نتیجه حاصل از روش پیشنهادی



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۳- نتایج حاصل از آزمودن روش‌ها (الف) تصویر روکش چوب با طرح و نقش متنوع، دارای بافت متنوع و بدون ضایعه گره (ب) نتیجه حاصل از GLCM (ج) نتیجه حاصل از روش رشد ناحیه (د) نتیجه حاصل از روش پیشنهادی



شکل ۴- منحنی ROC شامل مقایسه عیوب صحیح به عیوب ناصحیح برای روش‌های GLCM، رشد ناحیه و روش پیشنهادی

جدول ۲- نتایج معیارهای ارزیابی با TPR برابر ۹۰٪ برای روش‌های GLCM، رشد ناحیه و روش پیشنهادی

روش‌ها	FPR	P	A	DA
GLCM	٪۱۳/۳	٪۳۷/۷	٪۸۷/۷	٪۶۴
رشد ناحیه	٪۱۱/۳	٪۴۱/۵	٪۸۹/۷	٪۵۰/۱۶
روش پیشنهادی	٪۳/۱	٪۷۲	٪۹۸	٪۸۶/۵

جدول ۳- نتایج معیارهای ارزیابی روش با FPR برابر ۱۰٪ برای روش‌های GLCM، رشد ناحیه و روش پیشنهادی

روش‌ها	TPR	P	A	DA
GLCM	٪۸۲	٪۴۴	٪۹۰	٪۶۰
رشد ناحیه	٪۷۸	٪۴۲	٪۹۱	٪۴۸
روش پیشنهادی	٪۱۰۰	٪۴۷/۱	٪۹۱/۵	٪۸۹

نتیجه گیری

روش‌ها در تشخیص عیوب نشان می‌دهند. با توجه به این پارامترها، در نرخ آشکارسازی قابل قبول، مقدار خطای FPR روش پیشنهادی به ترتیب ۰٫۲٪ و ۰٫۸٪ کمتر از GLCM و رشد ناحیه بوده است. همچنین در همین شرایط، روش پیشنهادی حداقل ۲۲٫۵٪ بهتر از سایر روش‌ها پیکسل‌های عیوب را آشکار کرده است و میزان صحت آن نیز حداقل ۸٫۳٪ بهتر از سایر روش‌ها بوده است. مقدار دقت روش پیشنهادی نیز نسبت به رشد ناحیه ۳۰٫۵٪ و نسبت به GLCM، ۳۴٫۳٪ بهبود یافته است. از سوی دیگر، در بیشترین خطای FPR قابل قبول، روش پیشنهادی این مقاله در مورد تشخیص عیوب ۱۸٪ و ۲۲٪ بهتر از روش‌های GLCM و رشد ناحیه عمل کرده است. در همین شرایط علاوه بر اینکه دقت تشخیص عیب این روش ۳٫۱٪ بهتر از سایر روش‌ها بوده است و پارامتر صحت نیز حدود نیم درصد بهبود نشان می‌دهد، پیکسل‌های متعلق به عیوب نیز ۲۹٪ بهتر تعیین شده‌اند.

در این مقاله روشی جدید به منظور آشکارسازی خودکار عیوب موجود در تصاویر سطح چوب ارائه گردید. در روش پیشنهادی ابتدا با به کارگیری عملگرهای مورفولوژیکی مبتنی بر ماسکی که از لبه‌های قوی تصویر حاصل آمده است، رگه‌های طبیعی روی سطح چوب به عنوان عامل ایجاد خطا در تشخیص عیوب تا حد امکان محو شده‌اند. سپس برای حصول مرز عیوب از مفهوم بهینه سازی انرژی بر روی تصویر همگن حاصله استفاده گردید. برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، دو گونه از تصاویر براساس وجود ضایعه گره روی سطح آنها در نظر گرفته شدند. همچنین عملکرد روش پیشنهادی با روش‌های GLCM و رشد ناحیه با استفاده از معیار تعداد پیکسل‌های ضایعه گره، نرخ آشکارسازی صحیح و ناصحیح، صحت و دقت مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصله، عملکرد بهتر روش پیشنهادی را نسبت به سایر

مراجع

- [1] Portala, J.F. and Ciccotelli, J., 1992. Nondestructive testing techniques applied to wood scanning. *Industrial Metrology*, 2(3-4):299-307.
- [2] Kamariah, N., Ismail N. and Mohamad Zain J., 2009. A review of external wood defect detection. *International conference on software engineering and computer systems*, 19-21.
- [3] Zhong, Y., 1995. Image segmentation for defect detection on veneer surfaces. A thesis submitted to Oregon State University, Includes bibliographical references, leaves 180-198.
- [4] Lemaster, R.L., 2004. Development of an optical profilometer and the related advanced signal processing methods for monitoring surface quality of wood machining applications. Doctoral Thesis, Department of Wood and Paper Science, North Carolina State University, 254 p.
- [5] Bond, B.H., 1998. Characterization of wood features using color, shape and density parameters. Dissertation, Department of Wood Science and Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg.
- [6] Srikanteswara, S., 1997. Feature identification in wooden boards using color image segmentation. MSc Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg.
- [7] Lu, D. and Weng, Q., 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5):823-870.
- [8] Unsalan, C. and Erçil, A., 1998. Defect inspection of wood surfaces. *Electrical and electronic engineering*, Bogazici University.
- [9] Funck, J.W., Zhong, Y., Butler, D.A., Brunner, C.C. and Forrer, J.B., 2003. Image segmentation algorithms applied to wood defect detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 41:157-179.
- [10] Sahoo, P.K., Soltani, S. and Wong, A.K.C., 1988. A survey of thresholding techniques, *Computer Vision, Graphic and Image processing*, 41:233-260.

- [11] Mu, H., Qi, D., Zhang, M. and Yu, L., 2008. Image edge detection of wood defects based on multifractal analysis, Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, 1-3 Sept., Qingdao, 1232-1237 p.
- [12] Belknap, R., 1999. Software vision: understanding other edge and line-based segmentation techniques, Vision Systems Design, 4:25-28.
- [13] Gasim., Harjoko, A. and Hartati, S., 2013. Merging feature method on RGB image and edge. International Journal of Computer Science and Information Technologies, 4(1):188 – 193.
- [14] Chen, L., Wang, K., Xie, Y.H. and Wang, J.K., 2014. The segmentation of timber defects based on color and the mathematical morphology. Optik – International Journal for Light and Electron Optics, 125(3):956-967.
- [15] Kass, M., Witkin, A. and Terzopoulos, D., 1988. Snakes: Active contour models. International Journal of Computer Vision, 1(4):321-331.
- [16] Gonzalez, R.C., Woods, R.E. and Eddins, S.L., 2003. Digital image processing using MATLAB, Pearson Prentice Hall 609 p.
- [17] Pisupati, C., Wolff, L., Zerhouni, E. and Mitzner, W., 1996. Segmentation of 3D pulmonary trees using mathematical morphology. Mathematical morphology and its applications to image and signal processing, 5:409–416.
- [18] Aykac, D., Hoffman, E.A., McLennan, G. and Reinhardt, J.M., 2003. Segmentation and analysis of the human airway tree from three-dimensional X-ray CT images, IEEE Transactions on Medical Imaging, 22:940-950.
- [19] Irving, B.J., Taylor, P. and Todd-Pokropek, A., 2009. 3D segmentation of the airway tree using a morphology based method. Presented at: Second International Workshop on Pulmonary Image Analysis, London, 297-307.
- [20] Caselles, V., Kimmel, R. and Sapiro, G., 1997. Geodesic active contours. International Journal of Computer Vision, 22(1):61-79.
- [21] Paragios, N. and Deriche, R., 2002. Geodesic active regions: a new framework to deal with frame partition problems in computer vision. Journal of Visual Communication and Image Representation, 13:249–268.
- [22] Osher, S. and Fedkiw, R., 2003. Level set methods and dynamic implicit surfaces, Springer-Verlag New York, 273 p.
- [23] Zhao, H.K., Chan, T., Merriman, B. and Osher, S., 1996. A variational level set approach to multiphase motion. Journal of Computational Physics, 127(1):179-195.
- [24] *online*: http://www.wood-veneers.com/veneer_wood_photos.html.
- [25] Todoroki, C.L., Lowell, E.C. and Dykstra, D., 2010. Automated knot detection with visual post-processing of Douglas-fir veneer images. Computers and Electronics in Agriculture, 70:163–171.

A new method for defect detection on images captured from wood veneer: optimization of energy function on natural texture eliminated image

Abstract

In this paper a new method was introduced for defect detection in veneer images to investigate wood quality. In this method firstly, separating of defects from natural background of veneer is modeled as a hypothesis testing problem. In the next step, the natural texture of veneer is eliminated by using morphology concept. Finally, the correct boundaries of defects are extracted by optimizing energy function on above homogen area. Performance of the proposed algorithm is evaluated on real captured images containing several kinds of surface defects. The results demonstrated that the proposed method can detect the defects approximately 18% better than some current approaches. Furthermore, it may show that better detection of defects in the proposed algorithm not only does not lead to extracting more false defects, but also decreases the rate of false detections to approximately 8.2% compared to the existing algorithms. Consequently, it may be concluded that the proposed method may be used as a suitable alternative for detecting defects in veneer surfaces.

Keywords: defect detection, wood veneer images, hypothesis testing, natural texture, energy function.

S. V. Shojaedini^{1*}
R. Kasbgar Haghghi²

¹ Assistant Professor, Department of Electrical Engineering and Information Technology, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran.

² Msc, Department of Electrical Engineering and Information Technology, Iranian Research Organization for Science and Technology, Tehran, Iran.

Corresponding author:
shojadini@irost.ir

Received: 2015.06.08
Accepted: 2015.08.15