

کنترل کیفیت کانکتورهای خودرو با استفاده از روش‌های پردازش تصویر در حوزه فرکانس

نیما ضمیری^۱

^۱ شرکت کاویان افزار، zamiri@kavian-afzar.com

چکیده

در خطوط تولید کانکتورهای خودرو که از قابلیت انعطاف در ساخت قطعات مختلف^۲ برخوردارند، عوامل تولید می‌توانند طی یک زمان برپایی^۳ کوتاه، الگوی هندسی خانه‌های کانکتور را تغییر دهند. طراحی همزمان و افزودن توابع پردازش تصویر متناظر در دستگاه تست برای اندازه‌گیری ابعاد الگوهای جدید، هزینه‌های سرباری را به سازنده تحمیل می‌کند. در این مقاله سه روش مختلف برای پردازش تصویر کانکتور در حوزه فرکانس پیشنهاد و نقاط قوت و ضعف آنها بررسی می‌شود. این روش‌ها به تصویر کانکتور به عنوان یک الگوی هندسی واحد می‌نگرند و نتایج بررسی نشان می‌دهد که می‌توانند تغییر در ابعاد و شکل خانه‌ها را توصیف نمایند. همینطور دقت این روش‌ها در تفکیک قطعات سالم و معیوب بررسی و نشان داده می‌شود که می‌توانند منظور از کاربردها را تأمین نمایند.

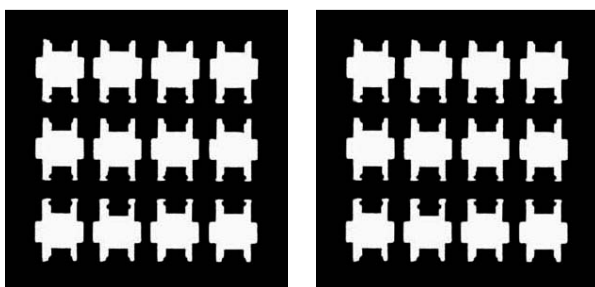
کلمات کلیدی

ماشین بینایی، تبدیل فوریه، آزمایش‌های غیر مخرب، تجهیزات الکتریکی خودرو

۱ - مقدمه

کانکتورهایی که چند رشته سیم را با سطح تماس و ایزولاسیون استاندارد به تجهیزات الکتریکی درون خودرو متصل می‌کنند، در اندازه‌ها و شکل‌های گوناگون تولید می‌شوند. استفاده از آزمون‌های ماشین بینایی برای بازرسی غیر مخرب این قطعات راه حلی است که نه تنها با سرعت و تیراژ بالای تولید سازگار است، بلکه دقت و تکرارپذیری لازم را برای تأمین نیازهای کیفی تولید ارائه می‌دهد. اگر هر محل اتصال از یک کانکتور n-خانه‌ای که یک رشته سیم درون آن متصل می‌شود را یک حفره نامگذاری کنیم، تصویر قطعه شامل ماتریس حفره‌هایی است که الگوی هندسی آنها باید بازرسی شود.

تکنیک‌هایی از پردازش تصویر که مرزهای هر حفره را تشخیص می‌دهند و پارامترهای ابعادی آن را بررسی می‌نمایند، با موفقیت روی انواع کانکتور آزمایش شدند. ولی هنگام تولید کانکتور از انواع مختلف، نه تنها تعداد حفره‌ها، بلکه الگوی هندسی آنها نیز تغییر می‌کند و همزمان طراحی توابع متناظر برای بازرسی این الگوها هزینه‌های سربار زیادی دارد. بنابراین یک راه حل برای بررسی تصویر کانکتور به عنوان یک الگوی تصویری واحد، تجزیه و تحلیل آن در حوزه فرکانس و تعریف توصیف‌کننده‌هایی است که بتوانند ماتریس حفره‌ها را در قالب یک بافت تصویری ارزیابی نمایند. شکل (۱) و (۲) تصویر دو نمونه سالم را نشان می‌دهند.



شکل (۱) و (۲): تصویر دو نمونه سالم، تفاوت میان

تصاویر با چشم قابل تشخیص نیست

برای بازرسی کانکتورها، سه نوع توصیف‌کننده در حوزه فرکانس آزمایش شده‌اند و نقاط قوت و ضعف آنها با یکدیگر مقایسه شده است. این سه توصیف‌کننده عبارتند از: (۱) فرکانس‌های غالب یا چیره‌ای^۴ که در طیف توان^۵ تصویر ظاهر می‌شوند، (۲) مجموع همه مقادیر طیف تصویر در جهت بردار یک زاویه مشخص در مختصات قطبی و (۳) ضریب همبستگی^۶ میان طیف تصاویر مختلف.

پیش از این، کاربردهای صنعتی روش‌های مبتنی بر آنالیز طیف تصویر برای شکل‌شناسی ذرات سایشی روغن [۱] و یا تعیین مشخصه‌های ساختاری الیاف پلیمری [۲] معرفی شده‌اند. همینطور از این روش‌ها در دستگاه‌های بازرسی بوردهای مدار چاپی [۳] و یا بطور کلی، الگوهای تصویری پرپودیک [۴] استفاده شده است. وجه مشترک این کاربردها، وجود توصیف‌کننده‌هایی است که می‌توانند برای الگوهای هندسی تکرار شونده

۲- بررسی فرکانس‌های مُدال در طیف توان تصویر

اگر تصاویر مربع و با اندازه $N \times N$ باشند و همینطور $I(x,y)$ سطح خاکستری تصویر در مختصات پیکسل (x,y) باشد، $F(u,v)$ تبدیل فوری تصویر از فرمول (۱) بدست می‌آید.

$$F(u,v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} I(x,y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{N})} \quad (1)$$

حال اگر $R(u,v)$ مؤلفه حقیقی و $J(u,v)$ مؤلفه موهومی $F(u,v)$ باشند، طیف تصویر از فرمول (۲) و $P(u,v)$ توان مقیاس شده آن از فرمول (۳) محاسبه می‌شوند.

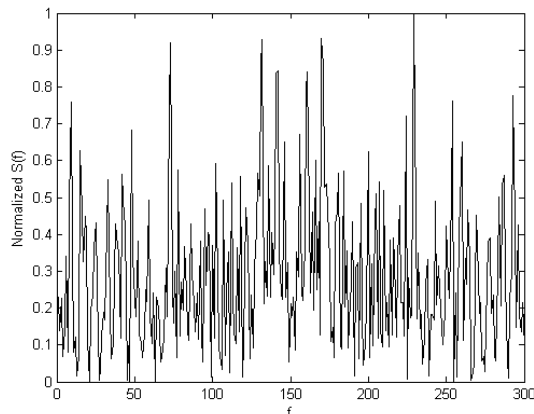
$$|F(u,v)| = \sqrt{R^2(u,v) + J^2(u,v)} \quad (2)$$

$$P(u,v) = \log(1 + |F(u,v)|^2) \quad (3)$$

پیش از محاسبه $P(u,v)$ باید مؤلفه DC طیف را به مرکز آن منتقل نمود. فرآیند پردازش سیگنال روی هر بخش از طیف توان که تفاوت میان نمونه‌های سالم و معیوب را بیشتر آشکار سازد، قابل پیگیری است. در ادامه با استفاده از فرمول (۴) سیگنال تک بعدی $S(f)$ از $P(u,v)$ ساخته می‌شود.

$$S(f) = \frac{1}{f_2 - f_1} \left| \sum_{v=f_1}^{f_2} P^T(f,v) - \sum_{u=f_1}^{f_2} P(u,f) \right| \quad (4)$$

که در آن ترانهاده P و f_1 و f_2 حدود بالا و پایین دو طرف فرکانس نایکوئیست ($N/2$) انتخاب شده‌اند. شکل (۹) یک نمونه از سیگنال‌های $S(f)$ نرمالیزه شده را نشان می‌دهد.



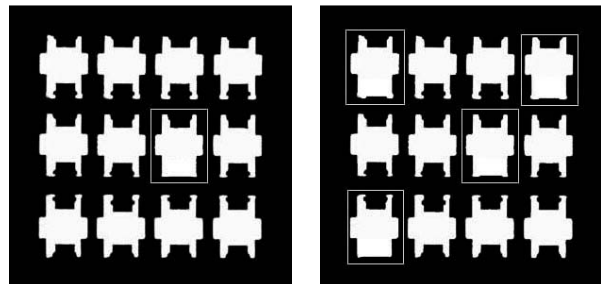
شکل (۹): $S(f)$ نرمالیزه شده برای شکل (۲) ($N=300$)

فرکانس‌های غالبی که در سیگنال $S(f)$ از یک مقدار آستانه بیشتر باشند و در همه نمونه‌های شاهد مشاهده شوند را فرکانس‌های مُدال^۱ تصویر نامگذاری می‌کنیم [۵].

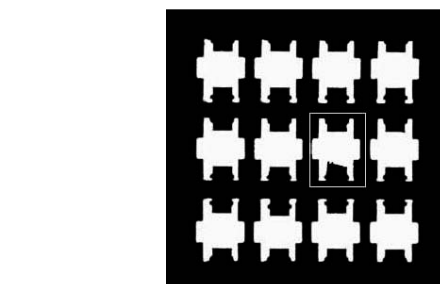
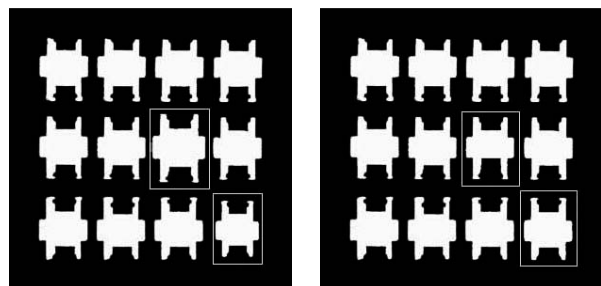
حدود هر فرکانس مُدال درون یک بازه قابل قبول، پس از آزمون همه قطعات شاهد تعیین می‌شود. دو طرف این بازه را با فرض نرمال بودن توزیع پارامترهای اندازه‌گیری شده، می‌توان

درون تصویر، ویژگی‌های عددی در حوزه فرکانس بیان نمایند. دوره‌های تکرار الگوها لزوماً منظم نیستند. ولی از ایده تکرار در کنترل کیفیت قطعات استفاده شده است. در واقع ماتریس خانه‌های هر کانکتور همان الگوی هندسی تکرار شونده فرض شده است.

پیش از آزمایش قطعات، ابتدا دستگاه بازرسی با تصویر نمونه قطعات شاهد آموزش داده می‌شود و سپس با استفاده از ویژگی‌های استخراج شده، برنامه آماده تست می‌شود. برای آموزش برنامه از حداقل ۳۰ نمونه سالم استفاده شده است ولی در این مقاله برای نمایش و مقایسه نتایج، تنها تصویر تعدادی از آنها آورده شده است. از آنجایی که سطح مقطع بازرسی در عمق ۱۰ میلی متری قطعه قرار دارد، نور پردازی از پشت آن انجام شده است. برای دستیابی به بزرگنمایی مناسب از لنز ۵۵ میلی متری و برای رسیدن به دقت اندازه‌گیری ۵۰ میکرو متری از دوربین با ریزبینی 1600×1200 استفاده شده است. شکل (۳) تا (۷) تصویر چند نمونه معیوب را نشان می‌دهد. ابعاد تقریبی هر حفره $3/7 \times 2/8$ میلی متر است.



شکل (۳) و (۴): تصویر نمونه‌های معیوب (شکستگی)



شکل (۵) و (۶) و پایین (۷): تصویر نمونه‌های معیوب (تغییرات ابعادی غیر قابل قبول و وجود پلیسه در شکل (۷))

شده است. جدول (۲) حدود S_{30} و S_{60} را برای قطعات سالم و معیوب نشان می‌دهد.

جدول (۲): حدود S_{30} و S_{60} برای قطعات سالم و معیوب

S_{30}	S_{60}	شکل	تصاویر نمونه‌های معیوب
۳۷۰۷/۶	۲۹۱۱/۸	شکل ۱	
۳۶۸۲/۱	۲۹۷۳/۹	شکل ۲	
۳۴۷۲/۹	۲۸۵۰/۶	شکل ۳	
۳۵۹۴/۲	۲۸۶۶/۴	شکل ۴	
۳۷۵۴/۹	۲۹۴۳/۶	شکل ۵	
۳۵۲۶/۳	۳۰۰۲/۱	شکل ۶	
۳۷۳۵/۷	۲۹۵۱/۲	شکل ۷	

اگر داده‌های سالم را درون ناحیه $۲۹۰۰ < S_{60} < ۳۰۰۰$ و $۳۶۵۰ < S_{30} < ۳۷۲۰$ خوشه بندی کنیم، توصیف کننده (S_{30}, S_{60}) می‌تواند تغییرات ابعادی حفره‌ها را به خوبی مشخص کند. در واقع علی‌رغم اینکه درصد بیشتری از قطعات سالم ممکن است معیوب تشخیص داده شوند، ولی قطعات معیوبی که دارای تغییرات ابعادی بالای ۲ درصد هستند، به خوبی تشخیص داده می‌شوند.

۴- محاسبه ضریب همبستگی میان طیف تصاویر

شبهات میان مؤلفه‌های حقیقی طیف تصاویر مختلف نیز می‌تواند یک معیار دیگر برای بازرسی قطعات باشد. ولی ابتدا طیف تصویر را با یک فیلتر میان‌گذر، یکنواخت می‌کنیم. طیف توان به نسبت $1/f^2$ با افزایش فرکانس افت می‌کند. پس برای یکنواخت کردن دامنه طیف، باید آنرا بطور خطی به نسبت $1/f$ جبران نمود. در عین حال برای حذف اثر نویز در فرکانس‌های بالا، این جبران کننده خطی را باید به یک فیلتر میان‌گذر حول فرکانس نایکوئیست ($N/2$) ارتقاء داد. بنابراین فیلتر گوسی H در مختصات قطبی و مطابق فرمول (۶) تعریف می‌شود [۷].

$$H = \rho \cdot e^{-\lambda} \quad , \quad \lambda = \alpha \left(\frac{\rho}{\beta \frac{N}{2}} \right)^2 \quad (۶)$$

که در آن ρ متغیر مستقل در مختصات قطبی و α و β ضرایب تنظیم نقاط برش فیلتر هستند. اکنون اگر مطابق فرمول (۷)، فیلتر H در طیف تصویر ضرب شود، طیف یکنواخت شده F_s بدست می‌آید.

$$F_s = H \cdot F \quad (۷)$$

اگر ماتریس مؤلفه‌های حقیقی F_s را F_{s_real} بنامیم، متوسط F_{s_real} ها برای n نمونه شاهد برابر با ماتریس $F_{s_real_avg}$ محاسبه

تخمین زد. ولی در حین آزمون قطعات، در صورتیکه قطعه سالم ارزیابی شود و یک یا چند فرکانس درون حدودشان نباشند، می‌توان بازه‌ها را دستکاری کرد.

سرانجام پس از بررسی فرکانس‌های مُدال در تصاویر نمونه‌های شاهد، مشاهده می‌شود که فرکانس‌های f_1 تا f_6 درون بازه‌های مشخص تکرار شده‌اند. این تعداد و همینطور حدود دامنه تغییرات هر فرکانس را می‌توان تغییر داد. همه این فرکانس‌ها در یک تصویر باید دیده شوند و مشاهده نشدن هر یک از آنها می‌تواند نشانه وجود نقص در قطعه باشد. فرکانس‌های مُدال برای تصاویر نمونه‌های شاهد در جدول (۱) نمایش داده شده‌اند.

جدول (۱): فرکانس‌های مُدال برای تصاویر نمونه‌های شاهد

شماره فرکانس	مقدار
f_1	۷۳
f_2	۱۳۱
f_3	۱۴۱
f_4	۱۶۱
f_5	۱۷۱
f_6	۲۲۹

در شکل (۳)، فرکانس‌های f_1, f_3, f_4 و f_6 در شکل (۴) فرکانس‌های f_3 و f_4 ظاهر نمی‌شوند. همینطور در شکل‌های (۵) تا (۷)، پروفایل فرکانسی نمونه‌های سالم مشاهده نمی‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که روش فوق راه حل مناسبی برای بازرسی تغییرات ابعاد، شکل و نیز وجود پلیسه در کانتورهای آزمایش شده است.

۳- محاسبه S_α در مختصات قطبی

اگر مجموع همه مقادیر طیف تصویر را در جهت بردار یک زاویه مشخص مانند α ، S_α بنامیم، این مقدار با فرمول (۵) تعریف می‌شود [۶]:

$$S_\alpha = \sum_{i=1}^{N/2} |F(u, v)| \quad (۵)$$

بنابراین S_{30} یعنی مجموع $F(u, v)$ هایی که در مختصات قطبی روی زاویه $\alpha = 30^\circ$ می‌افتند (آرگومان‌های u و v با توجه به مقدار $\tan(\alpha)$ گرد می‌شوند). حال اگر α را به گام‌های $k\pi/6$ تا 180° درجه تقسیم کنیم، S_{30} تا S_{150} ، توصیف کننده مناسبی از تبدیل فوریه تصویر در مختصات قطبی خواهند بود. هر چه طول گام‌ها کوتاه‌تر باشد، S_α به شکل یک تابع پیوسته با متغیر α نزدیکتر خواهد شد که البته زمان محاسبات نیز افزایش خواهد یافت. برای آزمون قطعات، از مقادیر S_{30} و S_{60} استفاده

سیاسگزاری

نویسنده از مدیریت محترم تحقیق و توسعه شرکت قطعه سازی کروژ، جناب آقای مهندس اکبر حقی برای مدیریت فنی پروژه و نیز اجازه انتشار داده‌ها و تصاویر این مقاله صمیمانه سپاسگزاری می‌نماید.

مراجع

- [۱] خلیلی، خلیل، دانش، مهدی، "تحلیل مقداری ذرات سایشی روغن با استفاده از پردازش تصاویر فروگرافی تحلیلی و LNF"، پنجمین کفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، ۱۳۸۷.
- [۲] حسن زاده، م، خداپرست حقی، ا، اکبری دوگلر، م، "استفاده از لایه نبافت نانو الیاف پلیمری به منظور فیلتراسیون: شناخت و بررسی مورفولوژی"، دوازدهمین کنگره مهندسی شیمی ایران، ۱۳۸۷

- [3] Tsai, D. M., Lin, B. T., "Defect Detection of Gold-Plated Surfaces on PCBs Using Entropy Measures", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 20, No. 6, 2002.
- [4] Weng, Y. S., Perng, M. H., "Periodic Pattern Inspection using Convolution Masks", The 10th IAPR Conference on Machine Vision Application, 2007
- [5] Hermans, L., Van Der Auweraer, H., "Modal Testing Analysis of Structures Under Operational Conditions: Industrial Applications", Mechanical Systems and Signal Processing Journal, Vol. 13, Issue 2, 1999
- [6] Tunak, Maros, Linka, Ales, "Planar Anisotropy of Fiber Systems by Using MATLAB Image Processing Toolbox", Dep. Of Textile Materials, Textile Faculty, Technical University in Liberec, Czech Republic, 2007
- [7] Simoncelli, Eero P., Olshausen, Bruno A., "Natural Image Statistics and Neural Representation", Annual Review of Neuroscience, 2001

زیر نویس ها

- 1 Connector
- 2 Flexible Manufacturing Systems (FMS)
- 3 Setup Time
- 4 Dominant Frequencies
- 5 Power Spectrum
- 6 Correlation Coefficient
- 7 Scaled Spectrum
- 8 Modal Frequencies

می‌شود. ضریب همبستگی دو بعدی میان F_{s_real} هر قطعه و $F_{s_real_avg}$ می‌تواند یک توصیف کننده برای تصویر آن قطعه باشد.

جدول (۳): ضریب همبستگی بخش حقیقی طیف میان تصویر قطعات مختلف

$corr2(F_{s_real_avg}, F_{s_real})$	شکل	نوع نمونه‌ها
۰/۹۹۹۸	شکل ۱	سالم
۰/۹۹۹۸	شکل ۲	سالم
۰/۹۵۹۵	شکل ۳	نمونه‌های معیوب
۰/۹۹۰۰	شکل ۴	
۰/۹۹۱۷	شکل ۵	
۰/۹۱۸۱	شکل ۶	
۰/۹۹۴۶	شکل ۷	

در جدول (۳) مقدار ضریب همبستگی برای نمونه‌های سالم نشان می‌دهد که این توصیف کننده در تشخیص تفاوت‌های اندک ابعادی و یا شکلی دو تصویر، ضعیف است. این توصیف کننده در تشخیص پلیسه‌های کوچک قطعه نیز همین مشکل را دارد. ولی به هر حال وجود نقص در قطعه را هنگامی که درصد تغییرات زیاد باشد، بخوبی شناسایی می‌کند.

۵- نتیجه

هر سه روش بررسی شده می‌توانند ویژگی‌های شکلی و ابعادی ماتریس حفره‌های یک کانکتور را در قالب یک الگوی تصویری واحد توصیف کنند. اگرچه فاصله عددی میان فرکانس‌های مُدال کم و حساسیت روش اول به تغییرات عدد آستانه انتخاب قله‌های طیف توان زیاد است، و یا هنگام استفاده از فیلتر میان‌گذر، یافتن ضرایب فیلتر و انتخاب عدد آستانه برای ضریب همبستگی از سرعت بکارگیری آن می‌کاهد، ولی به هر حال استفاده همزمان از این سه روش می‌تواند منظور از بکارگیری آنها را تامین نماید. هدف استفاده از روشی جایگزین است که به تصویر شبکه ای حفره‌ها، یک نگاه کلی بیاندازد.

تعیین مرز دقیق قطعات سالم و معیوب با توجه به عدم حوصله کافی اپراتورهای دستگاه و پیچیدگی نسبی این روش‌ها، بسادگی میسر نمی‌شود. ولی این کم دقتی تنها ریزش قطعات سالم را در ایستگاه کنترل کیفیت افزایش می‌دهد و عوامل تولید تا آماده شدن توابع پردازنده متناظر شکل هر حفره، از حذف فیزیکی قطعات معیوب خودداری می‌نمایند.