

روش نوین اندازه‌گیری نوسانات دینامیکی با استفاده از پردازش تصویر

حامد علیزاده^{۱*}، آرش جودی^۲، حسین بالازاده بهار^۱

^۱دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز

^۲دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی سهند

*h.alizadeh90@ms.tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۸/۰۴

چکیده

در این مقاله یک روش نوین برای اندازه‌گیری نوسانات دینامیکی با استفاده از پردازش تصویر ارائه شده است. در این روش گام‌هایی کوتاه برای جابه‌جایی‌ها در نظر گرفته شده و این گام‌ها توسط تکنیک پردازش تصویر اندازه‌گیری می‌شوند. برای دسترسی به دقت هرچه بیشتر اندازه‌گیری نوسانات، هرکدام از این گام‌ها نیز به گام‌های جزئی‌تر تقسیم شده و در هر گام اصلی یک تناوب از آنها تکرار می‌شود. این جزء نیز توسط تکنیک پردازش تصویر محاسبه شده و با گام بزرگ‌تر جمع زده می‌شود. با این تکنیک، نوسانات دینامیکی یک جسم در حال نوسان با دقت خیلی خوبی اندازه‌گیری می‌شود. کالیبراسیون سیستم به صورت نرم‌بافزاری است که به تشریح آن نیز پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: نوسانات دینامیکی، پردازش تصویر، کالیبراسیون

و. انجام آزمون‌های غیرمخرب (به عنوان مثال امواج فراصوت و پرتو ایکس).

هرکدام از بازرسی‌های فوق در نهایت به اندازه‌گیری و تحلیل پارامترهای مختلفی می‌پردازد که در صورت مغایرت با مقادیر بهینه از قبل تعیین شده و یا اندازه‌گیری شده در شرایط ایده‌آل، ایراد قسمتی از دستگاه و یا احتمال رخداد ایراد بیان می‌شود. بسته به دستگاه مورد بررسی، پارامترهای مناسب برای ارزیابی انتخاب می‌شوند. پارامتری که بیشترین استفاده را برای تعیین کیفیت عملکرد دستگاه و یا عیب‌یابی آن دارد، ارتعاش است. ارزیابی ارتعاشات برای ماشین‌های مختلف همچون توربین‌های گول‌پیکر و یا وسایل کوچک مثل هارد دیسک‌ها صورت می‌گیرد. تحلیل ارتعاشات در موارد زیر ضروری به نظر می‌رسد [۲-۴]:

- الف. ارزیابی شرایط ماشین،
- ب. شناسایی رفتن سیستم به حالت خطر،
- ج. شناسایی عوامل و قطعات خراب شده،
- د. پیش‌بینی عمر باقی‌مانده برای سرویس.

۱. مقدمه

در یک تعریف پایه‌ای، جابه‌جایی‌های نوسانی از یک نقطه مرجع، ارتعاش در آن ناحیه نامیده می‌شود. این نوسان می‌تواند تک‌فرکانسی و یا چندفرکانسی باشد [۱]. امروزه عیب‌یابی یک دستگاه یا ماشین پیش از وقوع خرابی کامل و در نتیجه آن خسارت به اجزای دیگر و تحمیل هزینه بیشتر، از موارد بسیار ضروری در صنایع مختلف اعم از بزرگ و کوچک به‌شمار می‌آید. روش‌های عیب‌یابی مختلفی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به این موارد اشاره نمود [۱]:

الف. اندازه‌گیری جابه‌جایی‌های نوسانی و تحلیل آنها،
ب. اندازه‌گیری انبساط، دما و سایر پارامترهای فیزیکی مرتبط،

ج. اندازه‌گیری سرعت و فاز،

د. تحلیل روغن (به عنوان مثال طیف‌نگاری)،

ه. بازبینی اپتیکی (به عنوان مثال آندوسکوپ، میکروسکوپ)،

بالاترین فرکانس اندازه‌گیری در این روش $500Hz$ است. از عمده مشکلات این روش عدم تشخیص نوسانات با فرکانس بالا و یا نوسانات با دامنه کم است.

۲.۲.۲. ارتعاش سنج زبانه ای^۲

برای اندازه‌گیری فرکانس اصلی ارتعاش از زبانه‌های با طول متغیر استفاده می‌شود. در عمل طول این زبانه‌ها، l ، طوری تنظیم می‌شود که زبانه با طول بیشینه به ارتعاش در بیاید. فرکانس ارتعاش این زبانه همان فرکانس ارتعاش ساختار مکانیکی است. طول l بطور مستقیم بر حسب Hz کالیبره می‌شود. بازه اندازه‌گیری، فرکانس‌های بین $5Hz$ تا $10kHz$ است.

۲.۲.۳. تراگذار جرم لرزه‌ای^۲

از یک مجموعه جرم، فنر و میراگر برای اندازه‌گیری ارتعاش استفاده شده است. شیوه کار بدین صورت است که با اعمال نیرو به جرم در اثر ارتعاش، جرم از نقطه استراحت انحراف یافته و نوسان می‌کند. طی این نوسان، مقدار مقاومت قرار گرفته در ساختار تغییر یافته و سیگنال نوسان تولید می‌شود. به منظور تحلیل سیگنال نوسان اندازه‌گیری شده، از روش‌های متعدد رایج در پردازش سیگنال‌های دیجیتال استفاده می‌شود. استفاده از تبدیل موجک^۴ از جمله آنهاست [۳].

۳. تکنیک پردازش تصویر

اندازه‌گیری جابه‌جایی ارتعاشات با دقت بالا، قابلیت تحلیل بهتر را به دنبال خواهد داشت. در این راستا ساختاری برای اندازه‌گیری جابه‌جایی و با تکنیک پردازش تصویر طراحی شده است. امروزه پردازش تصویر کاربرد فراوانی در صنعت پیدا کرده است و این بیشتر به دلیل عدم ارتباط مستقیم آن با سیستم است که در این کاربرد نیز ویژگی مهمی به شمار می‌آید [۸].

با در نظر گرفتن یک سکو نحوه اندازه‌گیری جابه‌جایی‌های آن با تکنیک پردازش تصویر تشریح می‌شود. شکل (۱) این سکو را بهمراه ساختار اندازه‌گیری جابه‌جایی نشان می‌دهد.

ابزارها و روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری میزان ارتعاشات و تحلیل سیگنال حاصل از اندازه‌گیری ارائه شده اند. هرچه دقت اندازه‌گیری و تحلیل سیگنال حاصل از ارتعاش بالاتر باشد، عیب‌یابی دستگاه و پیش‌بینی رفتار آن با کیفیت بالاتری انجام می‌پذیرد [۵-۷].

در بخش دوم این مقاله به بررسی معیارهای اندازه‌گیری ارتعاشات و روش‌هایی که تاکنون ارائه شده اند پرداخته می‌شود. در راستای اندازه‌گیری ارتعاشات، یک روش نوین بر پایه پردازش تصویر برای اندازه‌گیری نوسانات پیشنهاد می‌شود. در این روش یک ساختار ساده مکانیکی برای بارزتر نشان دادن نوسانات طراحی شده و اندازه‌گیری این نوسانات با روش پردازش تصویر صورت می‌گیرد. در بخش سوم این روش تشریح می‌شود. بخش چهارم نیز به بررسی کالیبراسیون سیستم می‌پردازد.

۲. معیارهای اندازه‌گیری و روش‌های موجود

۲.۱. معیارهای اندازه‌گیری ارتعاشات

معیارهایی که عموماً اندازه‌گیری ارتعاشات مکانیکی بر اساس آنها انجام می‌گیرد عبارتند از: الف. جابه‌جایی ارتعاشات: انحراف نقطه اندازه‌گیری از موضع استراحت را می‌نامند که بر حسب mm بیان می‌شود،

ب. سرعت ارتعاشات: سرعت جابه‌جایی از نقطه استراحت را گویند و با واحد mm/s یا ips بیان می‌شود،

ج. شتاب نوسان: معرف شتاب جابه‌جایی است و با واحد m/s^2 یا g بیان می‌شود.

۲.۲. تراگذارهای ارتعاشی

در زیر به چند مورد از روش‌های مرتبط و رایج اندازه‌گیری ارتعاشات اشاره می‌شود [۲]:

۲.۲.۱. چرخ سنج^۱

در این روش یک نشانگر ثابت به سطح ارتعاش مورد بررسی نصب می‌شود. اساس اندازه‌گیری بر تابش نور و اندازه‌گیری بازتاب آن از محل نشانه‌گذاری است.

آن متصل است- متصل به بدنه ثابت بوده و مماس با میله متحرک، با جابه‌جایی خطی میله به چرخش در می‌آید. شعاع حلقه باید طوری انتخاب شود که در یک دور کامل آن، نقطه مشخصه روی میله متحرک، به اندازه یک پیکسل از تصویر جابه‌جا شود. با نگاشت زوایای بین ۰ تا ۳۶۰ درجه چرخش پروانه، بر روی یک پیکسل، دقت محاسبه جابه‌جایی سکو، به مراتب بهبود می‌یابد.

با در نظر گرفتن دقت پردازش تصویر در یافتن زاویه پروانه، d_θ درجه، فضای یک دور کامل پروانه به n قسمت افراز می‌شود. n از رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$n = \frac{2\pi}{d_\theta} \quad (2)$$

با این توصیف فضای هر پیکسل از تصویر که معادل یک گام جابه‌جایی به اندازه d_x روی میله است، به n قسمت قابل اندازه‌گیری تقسیم می‌شود. دقت اندازه‌گیری جدید با عنوان $d_{x,New}$ از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$d_{x,New} = \frac{d_x}{n}$$

$$d_{x,New} = \frac{1}{2\pi} d_x d_\theta \quad (3)$$

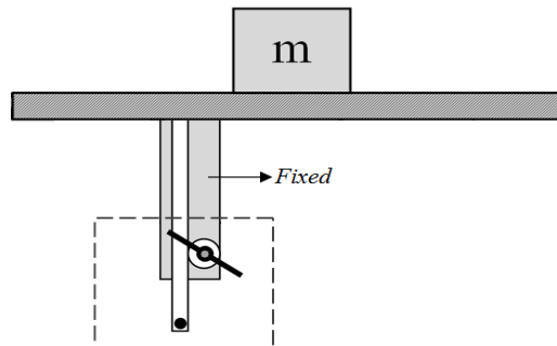
با توجه به شکل (۲) و در نظر گرفتن k ، اندیس پیکسل نقطه سیاه مشاهده شده و θ ، زاویه قرارگیری پروانه نسبت به افق، طبق رابطه (۴) مقدار نهایی جابه‌جایی از جمع دو جابه‌جایی حاصل می‌شود.

$$\Delta = kd_x + \frac{\theta}{d_\theta} d_{x,New}$$

$$\Delta = \frac{d}{M} \left(k + \frac{\theta}{2\pi} \right) \quad (4)$$

چنان که روابط فوق نشان می‌دهند، این تکنیک نسبتاً ساده، دقت بسیار خوبی در اندازه‌گیری جابه‌جایی ارائه می‌دهد.

با جابه‌جایی سکو و به دنبال آن جابه‌جایی میله متصل به آن (میله عمودی سفید رنگ)، که قابلیت جابه‌جایی در کشوی خاکستری رنگ نشان داده شده



شکل ۱. ساختار طراحی شده برای اندازه‌گیری تغییرات موقعیت سکو (کادر دوربین نشان داده شده است).

در شکل (۱) را دارد، حلقه دایره‌ای که مماس بر این میله بوده و مرکز آن متصل به بدنه ثابت است، متناسب با جابه‌جایی میله، به چرخش در می‌آید. دوربینی به فاصله معین روبه‌روی این میله قرار گرفته و تصویر آنرا می‌گیرد. به عنوان مثال تصویر قرار گرفته در کادر دوربین به صورت خط‌چین در شکل (۱) مشخص شده است. با تغییر مکان میله، نقطه سیاه‌رنگ مشخص شده روی آن، در پیکسل‌های مختلفی از تصویر قرار می‌گیرد. با پردازش تصویر به سادگی می‌توان پیکسلی که نقطه سیاه رنگ داخل آن قرار گرفته را مشخص نمود و با یک رابطه خطی جابه‌جایی را به دست آورد. با در نظر گرفتن M ، رزولوشن عمودی تصویر و d ، بیشینه جابه‌جایی سکو، d_x جابه‌جایی نگاشت‌یافته روی هر پیکسل به صورت رابطه (۱) حاصل می‌شود.

$$d_x = \frac{d}{M} \text{ (mm per pixel)} \quad (1)$$

متناسب با نوسان سکو، تغییرات محل نقطه علامت‌گذاری شده روی میله سفید کاملاً پیوسته است. ولی با عمل پیکسل‌بندی تصویر، محاسبه محل این نقطه مشخصه گسسته شده و دارای گام d_x می‌باشد. برای محاسبه جابه‌جایی‌های پیوسته داخل یک پیکسل، از حلقه نشان داده شده در شکل (۱) استفاده شده است. محور این حلقه - که یک پروانه به

۵. نتیجه گیری

روش ارائه شده برای اندازه گیری نوسان مکانیکی با استفاده از پردازش تصویر دارای ساختار مکانیکی ساده بوده که در عین حال قابلیت اندازه گیری نوسانات با دقت بسیار بالا را داراست. نویز پذیری خیلی کم و کالیبراسیون نرم افزاری از ویژگی های بارز این سیستم است.

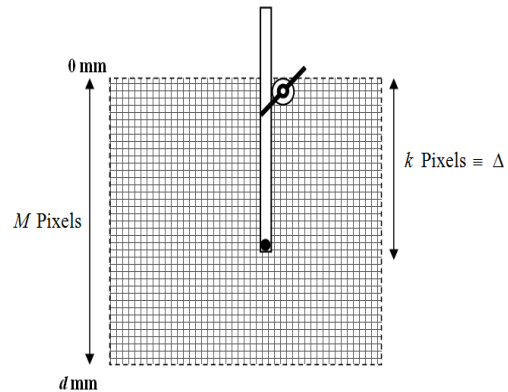
پی نوشت

1. Stroboscope
2. Reed Vibrometer
3. Seismic-Mass Transducer
4. Wavelet

مراجع

- [1] R. Kewitsch, *Basics of vibration technology—Measurement & Analysis, Seminar of Balancing and Diagnostic Systems.*
- [2] J. H. Sharp, *Vibration Measurement.*
- [3] M. Kawada, K. Yamada, K. Yamashita, K. Isaka, *Fundamental study on vibration diagnosis for turbine generators using wavelet transform*, Power Systems Conference and Exposition, IEEE PES, 2004.
- [4] W. Cao, J. Wang, M. Z. Ding, Q. Bi, K. Ooi, *Low Frequency Vibration Detection and Compensation in Hard Disk Drive*, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol.47, Issue 7, 1964 – 1969, 2011.
- [5] E. O. Doebelin, *Measurement Systems Applications and Design*, McGraw Hill, 1983.
- [6] M. H. Richardson, *Measurement and Analysis of the Dynamics of Mechanical Structures*, *Hewlett-Packard Conference for Automotive and Related Industries*, Detroit, MI, October, 1978.
- [7] G. Modgil, R. Orsagh, M. J. Roemer, *Advanced vibration diagnostics for engine test cells*, *IEEE Aerospace Conference*, 2004.
- [8] L. Lu, J. Geng, T. Zhao, *Research and analysis small infrared object detection track algorithm and its image processing technology*, *3rd International Conference on Research and Development Computer(ICCRD)*, 2011.

در عمل اگر دوربینی با وضوح بهتر انتخاب شود می توان به دقت بسیار بهتری نیز دست یافت. در حقیقت دقت محاسبات کاملاً متناسب با وضوح و سایز CCD یا CMOS به کار رفته در ساختار دوربین می باشد.



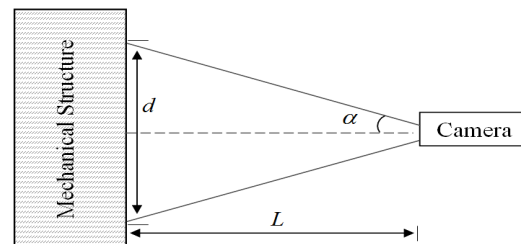
شکل ۲. پیکسل بندی تصویر گرفته شده توسط دوربین.

۴. کالیبراسیون

مطابق شکل (۳)، با در نظر گرفتن پارامتر α ، زاویه بازشدگی دید دوربین، L فاصله دوربین تا ساختار مکانیکی را می توان با استفاده از روابط مثلثاتی به صورت رابطه (۵) بدست آورد:

$$L = \frac{d}{2 \tan \alpha} \quad (5)$$

که d حداکثر بازه ارتعاش مورد نظر است. به منظور کالیبراسیون سیستم، در شرایط عدم وجود ارتعاش محل دقیق نقطه مشخصه توسط سیستم دریافت می شود. از این پس محل دریافت شده را به عنوان نقطه صفر در نظر می گیرد. در صورت تغییر محل دوربین و یا ماشین مورد بررسی، دوباره کالیبراسیون نرم افزاری صورت می گیرد.



شکل ۳. انتخاب محل نصب دوربین در مقابل ساختار مکانیکی.