٤٨٥٢٧

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

تشخیص و دسته بندی عیوب مکانیکی بلبرینگ توسط تجزیه و تحلیل در حوزه مشترک زمان-فرکانس

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات

الهام رمضانی

۱۳۸۲ /۷/ ۲۰

۴۸۵۰۷

استاد راهنما

دکتر سعید صدری

آذر ۸۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق- مخابرات خانم الهام رمضانی

تحت عنوان

تشخیص و دسته بندی عیوب مکانیکی بلبرینگ توسط تجزیه و تحلیل در حوزه مشترک زمان-فرکانس

در تاریخ۸۱/۹/۱۳ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی قرار گرفت.

استاد راهنمای پایان نامه — دکتر سعید صدری

استاد مشاور پایان نامه — مهندس محمد رضا احوان صراف

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر علیمحمد دوست حسینی

سپاس خداوند یکتا را که توفیق عطا نمود تا بتوانم گامی هرچند ناچیز در عرصه علم و دانش بردارم.در این راستا بر خود لازم می دانم از همه کسانی که در این راه مرا یاری کردند قدردانی نمایم.

جناب آقای دکتر صبدری استاد راهنمای اینجانب که نظرات و راهنمایهایشان همواره راهگشای من بوده وهست،آقای مهندس اخوان استاد مشاور و کمکهای بی دریغشان،داوران محترم آقای دکتر دوست حسینی و آقای دکتر مدرس هاشمی ،پژوهشکده برق و کامپیوتر که در رابطه با ضبط صدا بسیار همکاری کردند،پدر و مادرم ومحبتهای بی دریغشان در همه مراحل زندگی ام و همسرم بخاطر دلگرمیها و امیدهایش .

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

تقدیم به :

پدر ومادرم که هر چه دارم از آنهاست

همسرم

وهمه کسانی که دوستشان دارم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده ۱

فصل اول : مقدمه
۱-۱-معرفی ۲
۱-۲-تاریخچه ۳
۱-۳-روند ارائه مطالب ۶

فصل دوم: خرابیهای بلبرینگ
۲-۱-مقدمه ۷
۲-۲- طول عمر بلبرینگ ۸
۲-۳- انواع عیب‌ها ۱۰
۲-۳-۱- پوسته پوسته شدن ۱۰
۲-۳-۲- گیرپاژ ۱۲
۲-۳-۳- شکستگی بدنه ۱۳
۲-۳-۴- خرابی گارد ۱۴
۲-۳-۵- زنگ زدگی ۱۵
۲-۳-۶- فرسودگی ۱۵
۲-۳-۷- فرسایش الکتریکی ۱۶
۲-۳-۸- زبرشدگی ۱۷
۲-۳-۹- برینلینگ ۱۸
۲-۳-۱۰- برینلینگ کاذب ۱۸
۲-۳-۱۱- خزش ۱۹
۲-۳-۱۲- لغزندگی ۱۹
۲-۴- نتیجه گیری ۲۰

فصل سوم: دسته بندی کننده‌ها
۳-۱- مقدمه ۲۱
۳-۲- روش استاتیکی ۲۱

۳-۲-۱ دسته‌بندی کننده بیزی..... ۲۲
۳-۲-۲- احتمال خطا..... ۲۳
۳-۳- روش ساختاری..... ۲۴
۳-۴- معرفی شبکه‌های عصبی..... ۲۴
۳-۴-۱- تابع محرک زیگموئید..... ۲۵
۳-۴-۲- شبکه تک لایه و چند لایه..... ۲۶
۳-۵- تجزیه سیگنال در حوزه فرکانس ۲۸
۳-۶- مشخصه های زمانی..... ۳۱
۳-۷- تجزیه سیگنال در حوزه تبدیل فوریه زمان کوتاه..... ۳۵
۳-۸- نتیجه گیری..... ۳۹

فصل چهارم: معرفی تبدیل موجک

۴-۱- مقدمه ۴۰
۴-۲-معرفی تابع پنجره..... ۴۱
۴-۳- تبدیل موجک زمان پیوسته و زمان گسسته..... ۴۲
۴-۴- تجزیه و تحلیل با دقت چندگانه..... ۴۵
۴-۵- انتخاب تابع موجک..... ۴۹
۴-۶-تبدیل بسته موجک..... ۵۱

فصل پنجم : پردازش سیگنال توسط تبدیل موجک

۵-۱- مقدمه..... ۵۲
۵-۲- معرفی چد تابع موجک..... ۵۴
۵-۲-۱- موجک Haar..... ۵۴
۵-۲-۲- موجک شانون..... ۵۴
۵-۲-۳- موجک Meyer ۵۴
۵-۲-٤- موجکهای دابشیز..... ۵۴
۵-۲-۵- موجکهای Symlet..... ۵۵
۵-۳- انتخاب موجک مناسب..... ۵۵
۵-۴- اثر مراتب تجزیه..... ۵۸
۵-۵- تعیین وانتخاب مشخصه های مناسب..... ۵۸
۵-۶- مشخصه های زمانی ضرایب تجزیه ۵۹
۵-۶-۱- نتایج موجک Haar ۶۰
۵-۶-۲- نتایج موجک db3..... ۶۱

۵-۶-۳- نتایج موجک db4 ..... ۶۲
۵-۶-۴- نتایج موجک sym2 ..... ۶۳
۵-۶-۵- نتایج موجک sym4 ..... ۶۴
۵-۷- اطلاعات بی واسطه قابل اخذ از ضرایب ۶۵
۵-۷- ۱- خرابی کونس داخلی ۶۵
۵-۷-۲- خرابی ساچمه‌ها ۶۵
۵-۷-۳-خرابی کونس خارجی ۶۶
۵-۷-۴- خرابی قفس ۶۶
۵-۸- پردازش سیگنال توسط تبدیل بسته موجک ۶۷
۵-۸-۱--بلبرینگ سالم ۶۷
۵-۸-۲-خرابی قفس ۶۷
۵-۹- روش همبستگی ۶۹
۵-۱۰- نتیجه گیری ۷۰

فصل ششم: شرح ساخت دستگاه تست
۶-۱- مقدمه ۷۱
۶-۲-شرح کار ۷۱
۶-۳-توضیحات مربوط به شکلها ۷۲

فصل هفتم:نتیجه گیری و پیشنهادات
۷-۱- مقدمه ۷۵
۷-۲- جمع بندی کلی نتایج ۷۵
۷-۳- پیشنهادات ۷۷

مراجع ۷۸

چکیده:

هدف از این رساله ارائه یک روش پردازش سیگنال برای آشکارسازی و دسته بندی عیوب مکانیکی بلبرینگ می‌باشد. پس از بررسی مختصر ساختمان بلبرینگ به معرفی انواع عیبهای مکانیکی بلبرینگ می‌پردازیم و علل ایجاد عیوب مزبور و اثر آنها روی بلبرینگ را بررسی می‌نماییم. نشان می‌دهیم که هر کدام از این عیوب بر روی صدای تولید شده توسط بلبرینگ به هنگام کار آثار مشخصی باقی می‌گذارند. به همین جهت از لحاظ تاریخی روشهایی جهت تشخیص و دسته بندی عیوب بلبرینگ توسط تجزیه و تحلیل صدای آن معرفی شده است که از آن جمله می‌توان روشهای حوزه زمان و روشهای حوزه فرکانس (تجزیه و تحلیل طیف) را نام برد. در این رساله برای تجزیه تحلیل سیگنال صوتی بلبرینگ از روشهای تجزیه و تحلیل در حوزه مشترک زمان ـ فرکانس استفاده می‌کنیم. ابتدا روشهای پردازش اولیه لازم جهت تعیین مشخصه‌های عیوب را بررسی نموده و آنها را بصورت کلی ارائه می‌کنیم. سپس حوزه مشترک زمان ـ فرکانس را مطرح کرده تعیین مشخصه‌های عیوب را از روی نتایج تجزیه حاصل از تبدیل موجک[۱] معرفی می‌نماییم. آنگاه مسأله را به تبدیل بسته موجک[۲] تعمیم می‌دهیم. در تمام تستهای مذکور از سیگنال‌های واقعی تولید شده توسط بلبرینگهای واقعی استفاده می‌شود. سپس نتایج آشکارسازی و دسته بندی عیوب توسط تبدیل موجک را با روشهای کلاسیک دیگر مثل تجزیه و تحلیل طیفی و یا STFT مقایسه می‌کنیم تا مزایای روش تجزیه و تحلیل در حوزه wavelet آشکار شود.

۱- Wavelet Transform

۲- Wavelet Packet Transform

فصل اول

مقدمه

۱-۱-معرفی

کارخانه‌ها و شرکتهای تولیدی بزرگ می‌خواهند تا آنجا که ممکن است تولیدات خود را به سطح کیفیت و گارانتی بهینه نزدیک کنند. بنابراین دیگر پیروی از روشهای سنتی قدیمی به صرفه نمی‌باشد. این تولید کنندگان علاقه‌مندند طول عمر مفید قطعات و قسمتهایی که جنبه حیاتی برای کارکرد یک سیستم مکانیکی دارند را تا آنجا که ممکن است بالا ببرند و تنها زمانی که نیاز است آنها را وارسی کنند. برای رسیدن به چنین اهدافی نیاز به قدرت توانایی تشخیص عیوب و همچنین پیش بینی یکسری عوامل از جمله وضعیت کارکرد قطعات موردنظر و نیز طول عمر مفید باقی مانده می‌باشد. علاوه بر آن نیاز به انجام فرآیندها و برنامه ریزی‌هایی جهت تنظیم عملکردها برای بازدهی حداکثر، از اهمیت ویژه برخوردار است. کارخانه‌ها و بخشهای صنعتی می‌خواهند محصولاتشان دارای بازدهی هر چه بیشتر و کیفیت بالاتر باشد. از طرفی هر چه تولیدات و محصولات ساخته شده کاملتر و پیچیده‌تر می‌شوند کنترل کیفیت نیز پیچیده‌تر و مشکل‌تر می‌گردد. ساخت چنین تولیداتی بعنوان نمونه مثل هواپیما، اتومبیل، تجهیزات پزشکی و غیره شامل تعداد زیادی فرآیندهای پیچیده‌اند که بیشتر آنها شامل ترکیب غیرخطی و دینامیکی پیچیده ای از اجزاء فیزیکی و

حوزه‌های خاص دیگر است. نکته مهم این است که یکسری از این فرآیندها هنوز به درستی شناخته نشده‌اند و نحوه کارکرد آنها بطور تجربی ونه به صورت قوانین علمی محکم و استوار بدست آمده است.

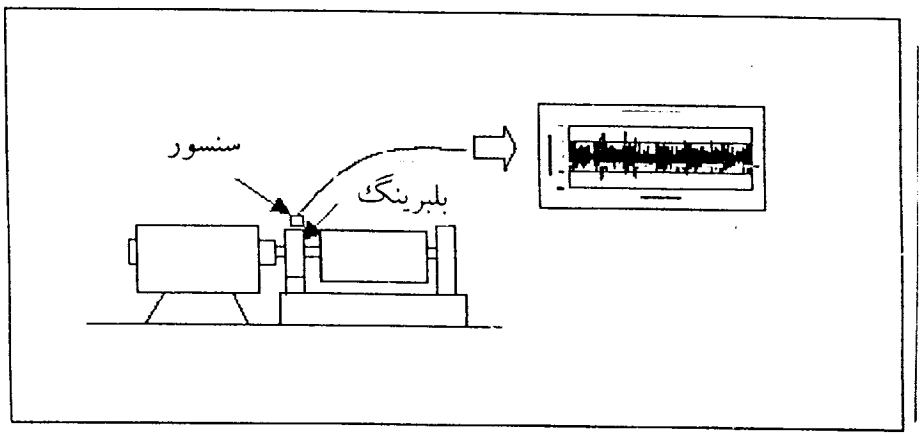
۱-۲- تاریخچه

شکستگی قطعات ماشین‌ها یکی از رایج‌ترین موارد است که می‌تواند موقعیتهای بحرانی بوجود آورد. خرابیها و شکستگیها معمولاً در شرایط دشوار بوجود می‌آیند و تقریباً غیرممکن است که بتوان این شرایط را به صورت قطعی پیش بینی نمود و موقعیت زمانی و مکانی‌شان را مشخص کرد.در سالهای اخیر موضوع استفاده از رایانه برای عیب یابی ماشین آلات مورد توجه بسیاری از محققان و متخصصانی که در زمینه تعمیرات و نگهداری ماشین آلات فعالیت می کنندقرار گرفته است.موضوع نگهداری و تعمیرات برنامه ریزی شده بخاطر تاثیر قابل توجه در کاهش هزینه ها از دیر باز در قالب مباحث پیشگیرانه و پیشگویانه مورد توجه بوده است.ماشین آلات دوار بعنوان بخش عظیمی از صنایع دنیا از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشند.بیشتر این ماشین آلات در سرعتهای زیاد کار می کنند و با پیدا کردن معایب مختصر در مدت زمان کوتاهی تخریب می شوند و خطرات و هزینه های اقتصادی قابل توجهی بوجود می آورند.دسته ای از روشهای نگهداری مثل روشهای تحلیل ارتعاشی و بررسی کارکرد ماشین در بین سایر روشها اهمیت ویژه ای دارند.پی بردن به سلامتی یا معایب و محل وزمان وقوع مشکلات مواردی هستند که با روشهای تحلیل ارتعاشی قابل اجرا می باشند.

نتایجی که اخیراً به دست آمده است حاکی از این است که در صنایع تولیدی سعی می‌شود از مجموعه ای از سنسورهای خاص استفاده شود و شرایط ماشینها و قطعات تحت کار بصورت یکسری داده از طریق یک شبکه داده به کامپیوترها فرستاده شود و نظارت بر روی قطعات از این طریق انجام گیرد. به این ترتیب اهداف فرآیند حفاظت و نگهداری قطعات و لوازم با استفاده از طرحهای شبکه بندی و تکنولوژی ارسال اطلاعات تأمین می‌گردد. تشخیص خرابی‌های ماشین در موقعیتهایی که مربوط به نگهداری و حفاظت است نیاز به بنا نهادن و طراحی یک سیستم جامع شامل چندین مدول از جمله مدول تشخیص خرابی دارد. در واقع این مدول خرابیها را از روی داده هایی که به صورت زنده از سنسورهایی که پارامترهای مهم ماشین در حال کار را اندازه گیری می‌کنند، تعیین می‌کند. مدول دیگری بنام تخمین زننده نیز نیاز است که وظیفه آن برآورد وضعیت کارکرد ماشین براساس داده ها ی بدست آمده از مدول تشخیص خرابی است . این مدول

براساس پیش‌زمینه‌ای که از داده های مربوط به خرابیهای مختلف ماشین دارد، وضعیت نگهداری و رسیدگی به ماشین و اینکه آیا نیازی به رسیدگی و تعویض هست یا نه را معلوم می کند.

در صنعت وقتی با ماشینهای گردشی مثل موتورهای صنعتی، پمپها، پنکه‌ها یا بلبرینگها سر و کار داریم آنالیز سیگنال زمانی یکی از رایج‌ترین تکنیکهای نگهداری است. سیگنال زمانی اندازه گیری شده در نقاط مشخص، مثل ساچمه‌های یک بلبرینگ می‌تواند اطلاعات مفیدی در مورد وضعیت کارکرد یا خرابی‌های مختلفی که ممکن است وجود داشته باشد به ما بدهد. شکل (۱-۱) اندازه گیری سیگنال زمانی را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۱): اندازه گیری سیگنال زمانی

بسته به اهدافی که مدنظر ماست بررسی عملکرد سیستم می‌تواند از دو روش زیر صورت گیرد:

الف) سیستم online :

در این حالت داده به صورت مداوم و اتوماتیک اندازه گیری شده و به وسیلهٔ یک سیستم کامپیوتری ذخیره و پردازش می‌شود.

ب) سیستم offline

در این حالت اندازه گیری دادهها به صورت متناوب مثلاً هر هفته دو بار صورت می گیرد و به کامپیوتر پردازشگر منتقل می‌شود. در این پایان نامه خرابیهای بلبرینگ بر مبنای چنین داده هایی تعیین می‌شوند.

خرابیهای روی بلبرینگ از روی تغییرات سیگنال صدای تولید شده توسط آن قابل تعیین می‌باشد. بسیاری از تجهیزات مکانیکی صداهای مشخصی تولید می کنند و با تغییر مود کار آنها صداها نیز مرتباً تغییر می کنند. بعنوان نمونه یک اتومبیل در طی حرکت خود با سرعتها و شتابهای مختلفی حرکت می کند و به تولید صدا می‌پردازد. بعلت اینکه بسیاری از سیگنال‌های این وسائل دینامیکی به صورت غیرایستان می‌باشند

بنابراین مشاهده وضعیت کارکرد آنها و تشخیص عیوب مکانیکی آنها معمولاً کار بسیار دشواری است. بنابراین یکسری از خرابیهای مکانیکی مثل تکان‌های شدید ، جرقه زدن، ترک خوردگی و شکاف،شل بودن، خزش، اصطکاک، ناهمراستای ، نشت روغن و غیره از جمله خرابیهایی هستند که معمولاً سیگنال غیرخطی و غیر ایستان ایجاد می‌کنند. برای پردازش یک چنین سیگنال‌هایی که مشخصات آنها با زمان تغییر می‌کنند نیاز به روش تجزیه و تحلیل سیگنال‌های غیر ایستان پیدا می شود.سیگنالهای غیر ایستان سیگنالهایی هستند که مشخصات آماری آنها بر خلاف سیگنالهای ایستان با زمان تغییر می‌کند .باوجود اینکه تبدیل فوریه یکی از تکنیکهایی مؤثری است که هم در پردازش سیگنال‌ها و هم در عیب‌یابی ماشینها بسیار استفاده می‌شود ولی تنها برای سیگنال‌های ایستان مناسب می‌باشد و نمی‌توان توسط آن اطلاعاتی از سیگنال که مربوط به تغییرات لحظه‌ای در حوزه زمان می‌شود را پیگیری نمود. در واقع محدودیت تبدیل فوریه در پردازش سیگنال‌های غیرایستان موجب معرفی یک روش پردازش سیگنال در حوزه مشترک زمان ـ فرکانس گردید. به منظور دستیابی به یک روش عیب‌یابی مختصر و مفید لازم است تجزیه سیگنال را با استفاده از تبدیل موجک که سیگنال را از حوزه زمان به حوزه مشترک زمان ـ فرکانس تجزیه می‌کند انجام داد و در نتیجه می‌توان تغییرات طیف سیگنال را به عنوان تابعی از زمان مشاهده نمود. در این روش با استفاده از ایده مقیاس، سیگنال را در سطوح مختلف دقت تجزیه می‌کنند. این تبدیل هم برای سیگنال‌های ایستان و هم برای سیگنال‌های غیرایستان قابل استفاده است. در سال ۱۹۸۹ Mallat موفق شد رابطه بین تجزیه موجک و بانک فیلترها و همچنین نحوه پیاده سازی تبدیل موجک با کمک فیلترهای دیجیتال را نشان دهد. الگوریتم Mallat براساس کانولوشن سیگنال با فیلترهایی با تعامد طرفینی عمل می‌کند و مانند FFT سریع است. Mallat با ابداع نظریه تجزیه سیگنال‌ها با دقت چندگانه نشان داد که تبدیل موجک در واقع عبارت است از تجزیه سیگنال ورودی بر روی یکسری فضاهای متعامد تو در تواست.فضاهای مزبور از نظر باند فرکانسی از یکدیگر مجزا بوده وباند فرکانسی را به صورت دودویی تقسیم می کنند. جدایی این باندها بعلت تعامد توابع موجک می‌باشد و از این نکته در کاربردهای مهندسی بسیار استفاده می‌شود.

تجزیه سیگنالها بر روی فضاهای مستقل متعامد موجب میشود که عمل دسته بندی سیگنالها و استخراج ویژگیهای آنها راحت تر شود.عمل دسته بندی از روی یکسری مشخصه های مهم که مشخصات سیگنال را در بر دارند صورت می‌گیرد. معمولاً مشخصه های مهم دسته بندی به صورت محلی در اطلاعات حوزه زمان و حوزه فرکانس سیگنال قرار دارند و تجزیه سیگنال در حوزه زمان ـ فرکانس در مهیا کردن یک دسته مشخصه مناسب و مؤثر برای دسته بندی الگوها کمک بسیار بزرگی است. معمولاً بعد فضای ورودی بسیار

زیادتر از بعد فضای خروجی است و فضای ورودی دارای افزونگی زیادی می‌باشد. بنابراین برای کاهش بعد فضای ورودی نیاز به انتخاب یکسری مشخصه داریم که مشخصات الگو در آنها نهفته باشد. همچنین این عمل نحوه اجرای الگوریتم دسته بندی را بهبود می‌بخشد و از پیچیدگی آنها می کاهد.کاری که باید صورت گیرد جمع آوری و انتخاب مشخصه های مناسب و سپس دسته بندی براساس این مشخصه ها می‌باشد.

در این رساله قصد داریم بلبرینگها را از روی صدای کارکرد آنها دسته بندی کنیم. ابتدا یک کتابخانه از صداهای بلبرینگهایی که از سالم و خراب بودن و نوع خرابی آنها اطلاع داریم تهیه می نماییم (جزئیات مربوط به چگونگی نحوه ضبط صدا در فصل ششم ذکر شده است). سپس تبدیل موجک را روی سیگنالها اعمال کرده نتایج تجزیه سیگنال را به طبقه بندی کننده که به استخراج ویژگیهای خاص سیگنالها از روی ضرایب تجزیه می پردازد می دهیم تا پس از آن عمل دسته بندی سیگنالها مبتنی بر آن انجام شود.

۱-۳- روند ارائه مطالب

ابتدادر فصل دو به معرفی رایج ترین عیوب بلبرینگ می پردازیم.سپس در فصل سه روشهای پردازش سیگنال درحوزه فرکانس وپس از آن مشخصه های زمانی وتبدیل فوریه زمان کوتاه را مطرح نموده در فصل چهار تبدیل موجک و تبدیل بسته موجک رابیان می کنیم.فصل پنج نتایج استفاده از تبدیل موجک به روی سیگنال های واقعی را در بر دارد.در فصل شش جزییات مربوط به ساخت دستگاه تست بیان می شودو در انتها نیز نتیجه گیری وپیشنهادات مطرح می گردد.