هفته ملی پژوهش و فناوری

نمایشگاه هفته پژوهش و فناوری
دانشگاه صنعتی همدان
آذر 1402

تشخیص خطای بلبرینگ موتورهای القایی با استفاده از شبکه عصبی کانولوشنی دوبعدی

نویسنده: سجاد خوش بخت، سید محمدمهدی موسوی

گروه برق، دانشگاه صنعتی همدان

Sajad.kh.wo@gmail.com

چکیده

ماشین های الکتریکی به طور گسترده در انواع کاربردهای صنعتی و تولیدی مورد بهره برداری قرار می گیرند. در این بین موتورهای القایی به دلیل مزایای فراوانی از جمله قابلیت اطمینان بالا، سهولت در کنترل، ساختار ساده و راندمان بالا، به عنوان پراستفاده ترین ماشین های الکتریکی در انواع صنایع شناخته می‌شوند. از طرفی به دلیل شرایط بهره برداری سخت و ویژه، این تجهیزات همواره در معرض بروز انواع خطاهای مکانیکی و الکتریکی می‌باشند. تشخیص به موقع و زودهنگام این خطاها، ضمن حفظ سلامت موتور و کاهش هزینه های تعمیر و نگه داری، منجر به عملکرد بی وقفه و بدون مشکل این موتورها خواهد شد. روش های تشخیص خطا در موتورهای القایی، برای دهه ها مورد مطالعه قرار گرفته اند. روش های سنتی تشخیص خطا به دلیل نیاز به تجربه و تخصص بالا و فرآیندهای سختی که دارند منجر به کاهش دقت تشخیص می‌شوند که این امر توجه محققان و مهندسان را به بهره گیری از روش های نوین مبتنی بر الگوریتم های هوشمند و خودکار جلب می‌کند. در این پژوهش به بررسی فرآیند تشخیص خطای بلبرینگ موتورهای القایی با استفاده از شبکه های عصبی کانولوشنی دوبعدی و مزیت های استفاده از آن پرداخته خواهد شد.

واژه های کلیدی : تشخیص خطای موتورهای القایی، شبکه های عصبی کانولوشنی، یادگیری عمیق، خطای بلبرینگ

مقدمه

به طور کلی حدودا بیش از ۵۰ درصد از کل انرژی الکتریکی تولید شده در سطح جهان و حدود ۶۰ درصد از برق صنعتی در کل جهان توسط موتورها، استفاده می شود که در راس پرکاربردترین این موتورها، موتورهای القایی می باشند. با توجه به نقش محوری این تجهیزات و آسیب پذیر بودن اجزای مختلف آنها تحت شرایط کاری سنگین، تشخیص سریع خطا در این موتورها امری حیاتی برای صاحبان صنایع محسوب می شود. مطالعات نشان می دهد که در بین انواع خطاهای رایج در موتورهای القایی، بیش از ۴۰ درصد خطاها مربوط به بلبرینگ موتورها می باشد.

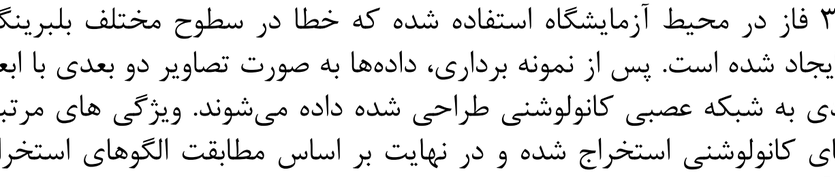
در بین روش های تشخیص خطا، الگوریتم های یادگیری عمیق به دلیل سرعت و دقت بالای تشخیص و همچنین عدم نیاز به پیش پردازش های پیچیده داده، توجه های زیادی را به خود جلب کرده است. استخراج ویژگی خودکار، ارتقا دقت و حساسیت، تطابق با انواع داده ها، کنترل موثر داده های بلند مدت، مدیریت مقیاس و پیچیدگی، مقاومت در برابر نویزها و قدرت تعمیم پذیری بالا از مهم ترین مزیت های یادگیری عمیق در فرآیندهای تشخیص خطا می باشد. از این رو می توان این الگوریتم های هوشمند را جایگزین مناسبی برای روش های سنتی دانست.

اهداف و روش پژوهش

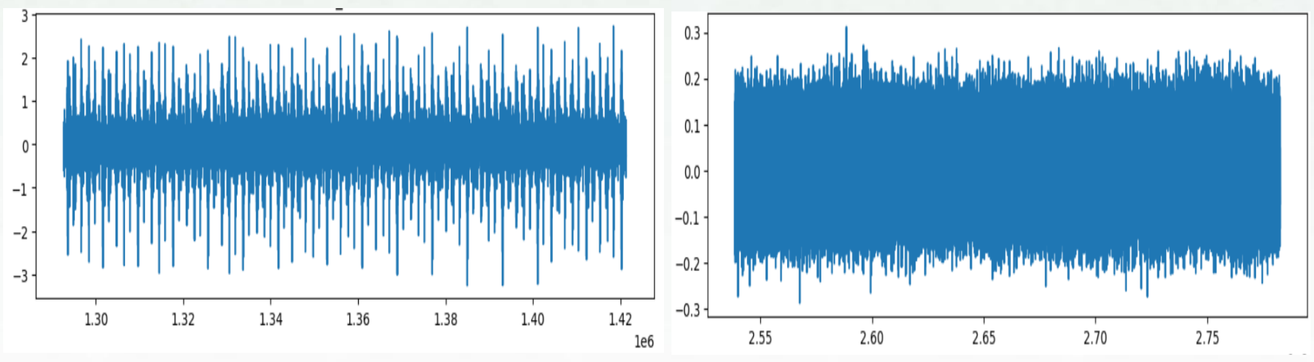
هدف اصلی این پژوهش این است که با استفاده از تکنیک های یادگیری عمیق به یک مدل تشخیص خطای بلادرنگ و با قدرت تعمیم بالا جهت نظارت مستمر بر وضعیت موتور با کم ترین نیاز به پیش پردازش داده و دقت بسیار بالا دست یابیم. برای این منظور ابتدا داده های مورد نیاز جهت تجزیه و تحلیل وضعیت سلامت بلبرینگ ها، با نرخ نمونه برداری بالا و در شرایط بدون خطا و معیوب جمع آوری می شوند. مطالعات پیشین نشان می دهند که مناسب ترین داده جهت تشخیص عیوب بلبرینگ داده های ارتعاش می باشند. برای این منظور در این پژوهش اقدام به طراحی و ساخت یک PCB جهت نمونه برداری سیگنال های ارتعاش، جریان و ولتاژ موتور و همچنین ارسال داده ها به سمت سرور جهت آنالیز وضعیت سلامتی موتور گردیده است. برای جمع آوری داده های ارتعاش از یک سنسور شتاب سنج ۳ محوره استفاده می‌شود. همچنین برای شبیه سازی خطا از یک موتور القایی ۳ فاز در محیط آزمایشگاه استفاده شده که خطا در سطوح مختلف بلبرینگ با عمق های مختلف ایجاد شده است. پس از نمونه برداری، داده‌ها به صورت تصاویر دو بعدی با ابعاد یکسان به عنوان ورودی به شبکه عصبی کانولوشنی طراحی شده داده می‌شوند. ویژگی های مرتبط با خطا توسط لایه های کانولوشنی استخراج شده و در نهایت بر اساس مطابقت الگوهای استخراج شده با مجموعه داده آموزش، داده ها طبقه بندی خواهند شد.

یافته‌های پژوهش

تشخیص عیوب بلبرینگ مبتنی بر یادگیری عمیق را می توان به سه مرحله تقسیم کرد. مرحله اول استخراج ویژگی ها، مرحله دوم انتخاب ویژگی و مرحله سوم تشخیص طبقه بندی کننده ها می باشد. بخش استخراج ویژگی عمدتاً ویژگی های حساس سیگنال ارتعاش را در حوزه های مختلف استخراج می کند تا مجموعه ای از ویژگی ها را تشکیل دهد. درتشخیص خطای بلبرینگ، یک مدل یادگیری عمیق ساده نیازی به استخراج دستی ویژگی و انتخاب ویژگی ندارد، اما به زمان اجرای طولانی تر و تجهیزات سخت افزاری قدرتمندتری نیاز دارد.
یکی از مهم ترین فاکتورهای موثر بر دقت مدل، نرخ نمونه برداری داده ها می باشد. به عبارتی با کاهش نرخ نمونه برداری بسیاری از ویژگی های مرتبط با خطا در داده ها از بین می رود. از طرفی استفاده از سنسورهای شتاب سنج که نرخ نمونه برداری بالایی ارائه دهند هزینه بر خواهد بود. پتانسیل بالای شبکه های عصبی کانولوشنی در تطابق با انواع داده ها و کنترل موثر آنها می تواند در افزایش دقت و حساسیت این شبکه ها نسبت به کوچکترین تغییرات الگوی داده های فرکانس پایین نقش موثری داشته باشد.



شکل ۱. اجزا اصلی بلبرینگ و نمونه‌ای از یک سیستم آزمایشگاهی برای جمع آوری مجموعه



ب | **الف**

شکل ۲. نمونه داده های ارتعاش در شرایط الف) بلبرینگ سالم ب) بلبرینگ معیوب (خطا در سطح بیرونی بلبرینگ با عمق 0.021 اینچ)

راهبردهای پیشنهادی

به طور خلاصه راهبرد اصلی فرآیند تشخیص خطا با استفاده از یادگیری عمیق به شرح زیر می باشد:
۱- تعریف مسئله: ابتدا به تعیین نوع خطا، اهمیت و تاثیر آن و همچنین بررسی روش های حل مسئله پرداخته خواهد شد.
۲- جمع آوری داده: در این مرحله سیگنال های ارتعاش در شرایط سالم و معیوب جمع آوری می شود.
۳- پیش پردازش داده: داده ها جهت ورود به شبکه عصبی کانولوشنی مرتب و پیش پردازش می شوند تا نویز و اطلاعات غیرمرتبط حذف شوند.
۴- برچسب زنی داده: مجموعه داده ها با برچسب های مرتبط نشانه گذاری می شوند.
۵- تقسیم بندی مجموعه داده: داده ها به دو دسته آموزش و اعتبارسنجی تقسیم می شوند و در هر مجموعه توزیع متوازنی از نمونه های سالم و معیوب حضور خواهند داشت.
۶- طراحی مدل: در این مرحله یک معماری شبکه عصبی کانولوشنی دوبعدی انتخاب و طراحی می گردد.
۷- تنظیم هایپرپارامترها: عملکرد مدل از طریق تنظیم هایپرپارامترها نظیر نرخ یادگیری، تنظیمات لایه ها، اندازه دسته و ... بهبود می یابد.
۸- آموزش: مدل توسط مجموعه داده آماده شده آموزش می یابد.
۹-ارزیابی: در نهایت از داده های تست جهت بررسی عملکرد مدل و ارزیابی نهایی استفاده می شود.

منابع

1-Y. Lei, B. Yang, X. Jiang, F. Jia, N. Li, and A. K. Nandi, “Applications of machine learning to machine fault diagnosis: A review and roadmap,” Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 138, p. 106587, 2020
2- F. Dalvand, A. Kalantar and M. S. Safizadeh, "A Novel Bearing Condition Monitoring Method in Induction Motors Based on Instantaneous Frequency of Motor Voltage," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 1, pp. 364-376, Jan. 2016, doi: 10.1109/TIE.2015.2464294.
3- GH. Bazan, A. Goedtel, O. Duque-Perez, D. Morinigo-Sotelo. "Multi-fault diagnosis in three-phase induction motors using data optimization and machine learning techniques". Electronics. 2021 Jun 18;10(12):1462.

تایید استاد راهنما

نام و امضا استاد راهنما:
تایید تحصیلات تکمیلی:
تایید امور پژوهشی: