سیستم پایش وضعیت ابزار در ماشین کاری با استفاده از الگوریتم یادگیری ماشین

محمد محمدزاد کومله\*1، سیدرضا حمزه لو 2

1- دانشجوي كارشناسي ارشد مهندسي ساخت و توليد دانشگاه شهيد رجايي تهران

2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران

\* m\_mohamadzadeh96@yahoo.com

چکیده

ماشین­کاری اتوماتیک بخش جدایی ناپذیر و مهم سیستم­های تولید نوین است. یکی از مهمترین مسایل درکنترل و بهینه سازی فرآیند ماشین­کاری اتومات تشخیص میزان سایش و خرابی ابزار درحین فرآیند است. آگاهی از وضعیت ابزار درحین فرآیند تنها ازطریق ایجاد یک سیستم پایش وضعیت دقیق و کارآمد امکان پذیر می­باشد. هدف از این پژوهش بررسی و امکان سنجی ایجاد یک سیستم پایش وضعیت ابزار ساده، دقیق وکارآمد با استفاده از الگوریتم یادگیری ماشین برای ابزار تک لبه تراشکاری با معیار سایش سطح آزاد (پهلو) می­باشد. برای دستیابی به این هدف از روش نوین امپدانس الکترومکانیکی و الگوریتم درخت تصمیم گیری یادگیری ماشین استفاده شد. در روش امپدانس الکترومکانیکی که امپدانس مکانیکی سازه با کمک معادل الکتریکی اندازه گیری می­شود پایش ابزار با استفاده از داده­های سنسور پیزوالکتریک (عملگر/حسگر همزمان) نصب شده بر روی ابزار و بررسی تغییرات امپدانس ابزار انجام پذیرفته است. در روش یادگیری ماشین، کامپوتر مجموعه داده را دریافت وداده، الگوریتم را طراحی می­کند و به الگوریتم آموزش می­دهد. در این پژوهش از روش یادگیری ماشین با­نظارت درخت تصمیم­گیری استفاده شده است . نتایج نشان می­دهد که ( در صورتی که داده های تجربی کم باشد) استفاده از دستور kfold در سیستم پایش وضعیت ابزار، عملکرد بهتری نسبت به hold\_out دارد. البته باید در انتخاب k نیز دقت کافی داشت، چرا که انتخاب k مناسب در عملکرد ماشین تاثیر بسزایی دارد .

**کلی**د‌واژگ**ان**

ماشین­کاری، یادگیری ماشین، درخت تصمیم­گیری، وضعیت ابزار

TOOL CONDITION MONITORING SYSTEM WITH

MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Author name1, Author name2\*, Author name1, …

1- Name of the Department, University Name, Tehran, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

\* P.O.B. 999999999 Tehran, Iran, [email@address.ac.ir](mailto:email@address.ac.ir)

Abstract

Automatic machining is an integral and important part of modern production systems. One of the most important issues in controlling and optimizing the automatic machining process is detecting the amount of wear and tear of the tool during the process. Awareness of the status of the tool during the process is possible only by creating an accurate and efficient status monitoring system. The purpose of this study is to investigate and evaluate the feasibility of creating a simple, accurate and efficient tool status monitoring system with using machine learning algorithm for single-edge lathe tools with free (side) wear criteria. To achieve this goal, a new electromechanical impedance method and machine learning decision algorithm were used. In the electromechanical impedance method, in which the mechanical impedance of a structure is measured with the help of an electrical equivalent, instrument monitoring is performed using piezoelectric sensor data (simultaneous actuator / sensor) installed on the instrument and the instrument impedance changes are investigated. In machine learning, the computer receives the data set, designs the algorithm, and teaches the algorithm. In this research, the machine learning method under the decision tree has been used. The results show that (if the experimental data is scarce) using the kfold command in the tool status monitoring system performs better than hold\_out. Of course, you should be careful in choosing k, because choosing the right k has a great impact on the performance of the machine.

Keywords

Machining, machine learning, decision tree, tool status

مقدمه

عمر ابزار از موضوعات مهم در ماشينکاري می باشد. در محيط­هاي ساخت سنتی پایش وضعيت[[1]](#footnote-1) ابزار توسط اپراتورهاي ماهر با استفاده از تجربه و بازرسی چشمی مستمر از سطح ابزار و قطعه­کار انجام میشود. پایش وضعيت ابزار توسط انسان، گران و در معرض خطا است. این خطاها میتواند موجب آسيب قابل توجهی به قطعه و ماشين­ابزار شود. بنابر وجود سيستمی خودکار جهت پایش وضعيت سایش ابزار با قابليت اطمينان بالا جهت کاهش زمان و هزینه­هاي ماشينکاري ضروري می­باشد.

روش­هاي پایش وضعيت ابزار به دو دسته اصلی روشهاي مستقيم و روشهاي غيرمستقيم تقسيم میشوند. روش­هاي مستقيم آنهایی هستند که سایش حقيقی خود ابزار را اندازه­گيري می­کنند و روش­هاي غيرمستقيم روش­هایی براساس اندازه­گيري پارامترهایی هستند که به­عنوان نتيجه فرعی سایش ابزار تغيير می­کنند. روشهاي مستقيم شامل روشهاي زیر است:

- روش­هاي رادیو اکتيو

- اندازه­گيري مقاومت الكتریكی

- اندازه­گيري تغييرات ابعادي قطعه­کار

- فاصله بين قطعه­کار و ابزار

- بينایی ماشين (پردازش تصویر مناطق مختلف سایش ابزار)

روشهاي غيرمستقيم شامل اندازه­گيري دما، ارتعاشات، انتشار صوتی، نيرو، تحليل بافت سطح قطعه­کار، توان و جریان می­باشد. [1] روش­هاي مستقيم داراي دقت بيشتري هستند، اما اجراي آنها خصوصاً در پایش برخط[[2]](#footnote-2) سایش ابزار کار مشكلی است. در حال حاضر بيشتر سيستمهاي پایش وضعيت ابزار براساس روشهاي غيرمستقيم حسگري می­باشند. هر یك از روشهاي پایش وضعيت داراي مزایا و معایبی هستند و علاوه بر این استفاده از داده­هاي یك حسگر به­تنهایی نمی­تواند تمام اطلاعات مورد نياز براي پایش وضعيت ابزار را در اختيار قرار دهد. بهترین راه حل ممكن ترکيب داده­هاي حسگرها یا تلفيق حسگرهایی میباشد که در نقاط مختلف سيتم نصب شده­اند. داده­هاي به­دست آمده از این طریق داراي دقت بالاتر، کامل­تر، مستقل­تر و قابل اطمينان­تر است.

ایجاد یک سیستم پایش وضعیت ابزار در فرآیند ماشینکاری که سایش و شکست ابزار را با دقت مطلوب و به صورت بلادرنگ تشخیص دهد می­تواند علاوه بر محافظت اپراتور ، ماشین و قطعه در برابر خطرات ناگهانی با پیش بینی احتمال شکست ابزار،کیفیت قطعات تولیدی را بهبود و هزینه تولید را کاهش دهد. به منظور پایش وضعیت ابزار در حین فرآیند ماشینکاری روشهای مختلفی تا کنون مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته اند.

پایش وضعیت

پایش وضعیت به مجموعه اعمالی گفته می شود که طی آن وضعیت تجهیز و تغییرات آن، در حالی که تجهیز مشغول کار می­باشد، با اندازه گیری پارامترهایی همچون ارتعاش ،صدا،حرارت و .... مورد بررسی قرار می گیرد. با کمک داده های بدست آمده و بررسی و تفسیر تغییرات ایجاد شده ، وضعیت تجهیز در هر لحظه از فعالیت تعیین می گردد.

عمر ابزار

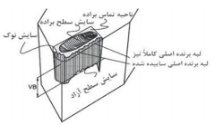
همه ابزارهای برشی در طول فرآیند ماشینکاری ساییده می شوند و این ساییدگی ادامه می یابد تا ابزار به پایان عمرخود برسد. عمر ابزار مدت زمانی است که یک لبه برنده می تواند قطعات را ماشینکاری کند در حالی که در محدوده پارامترهای قابل قبول قرار گرفته باشد. این زمان بر حسب دقیقه محاسبه می­شود.



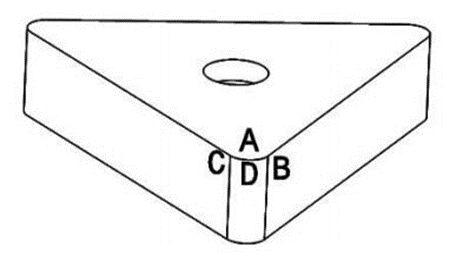
شکل1 منحنی سایش ابزار برحسب زمان[2]

سایش ابزار، در اثر عوامل متعدد، که ترکیبی از آنها به لبه برنده تحمیل می­شوند، ایجاد می­گردد. این عوامل از تاثیر متقابل ابزار و قطعه کار و شرایط ماشین­کاری بوجود می­آیند. شکل3 مناطق مختلف ابزار تک لبه تراشکاری که در اثر سایش دچار تغییر هندسه شده را نشان می­دهد.

در شکل4 مناطق اصلی سایش روی لبه اینسرتها نشان داده شده است. (A) سطح براده،(B)سطح آزاد پیشرو،(C) سطح آزاد پسرو و (D)شعاع نوک می باشد. [3]



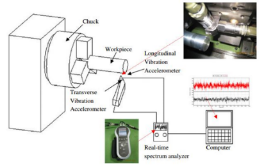
شکل ‏3 مناطق مختلف سایش ابزار تک لبه تراشکاری[2]



شکل4 مناطق ایجاد سایش در اینسرت­ها [2]

پایش وضعیت ابزار به روش ارتعاشی

ارتعاشات توسط تغييرات تناوبي در مولفه­هاي ديناميکي نيروهاي برشي ايجاد مي­شود. معمولاً اين حرکات ارتعاشي به صورت ارتعاشات کوچک ابزار که خود باعث دندانه اي شدن سطح و بي نظمي ضخامت براده مي­شود آغاز مي­­گردد و به شکل انواع دیگر ارتعاشات پيشرفت مي­کند. ارتعاشات مکانيکي عموماً نتيجه حرکات موجي تناوبي هستند و دارای مشخصه دامنه، فرکانس و فاز می­باشند که با بررسی تغیرات این مشخصه­ها می­توان در مورد ارتعاشات اظهار نظر نمود. طبيعت سيگنال­هاي ارتعاشي که از فرآيند براده برداري ايجاد مي­شوند به طوري است که ارتعاشاتي از نوع آزاد، اجباري، تناوبي و تصادفي ايجاد مي­کند. سنسورهاي پيزوالکتريک مي­توانند دامنه ارتعاشات ايجاد شده در ماشين که در اثر نوسان نيروهاي برشي ايجاد مي­شوند را اندازه­گيري کرده و نيازهاي محيطي پايش سايش ابزار براده برداري را برآورده کنند.[3]



شکل5 شماتیک تجهیزات و فرآیند داده برداری در روش پایش ابزار ارتعاشی

اندازه گیری ارتعاشات

سنسور ارتعاش سنج اولين وسيله مورد نياز برای اندازه گيری ارتعاشات است. سنسور ارتعاشی ابزاری است که حرکت ارتعاشی را حس کرده و آن را به يک سيگنال الکتريکی (AC ) متناسب با دامنه حرکت ارتعاشی، تبديل می کند. با تبديل ارتعاشات به سيگنال الکتريکی، امکان ذخيره سازی، انجام پردازش­های بعدی و نيز مشاهده سيگنال از طريق دستگاه های الکترونيکی (تجهيزات داده برداری) فراهم می شود. آنچه درباره سنسورهای به کاربرده شده درسیستم پایش وضعیت به روش ارتعاشی اهمیت دارد عبارت است از:

1- نوع سنسور بر اساس مکانیزم کاری و پارامتر اصلی اندازه­گیری2- انتخاب صحيح سنسور، با توجه به مشخصات سنسور (حساسيت، پاسخ فرکانسی، رنج ديناميکی، رنج اندازه گيری، ابعاد، وزن، دمای کاری، نوع کانکتور، جهت اندازه گيری، نوع تغذيه سنسور، ...) 3- نصب صحیح سنسور4- وضعيت مناسب اتصالات سنسور و کابل آن[4]

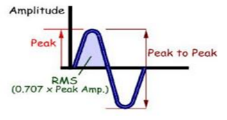
پردازش سیگنال

آنالیز سیگنال با فراهم کردن و استخراج ویژگی های موثر به عنوان ابزار اصلی عیب یابی نقش مهمی در سیستم های سنسوری ایفا می­کند در واقع پردازش سیگنال را میتوان به عنوان ابزاری برای انتخاب اطلاعات مهم از حجم انبوه اطلاعات توصیف کرد.

بطور کلی برای پردازش سیگنال و استخراج ویژگی روش­های مختلفی وجود دارد که عبارتند از: 1- روش­های حوزه زمان 2- روش­های حوزه فرکانس 3- روش­های حوزه زمان­ فرکانس[5]

روش­های حوزه زمان

حوزه زمان اتفاقاتی که برای یک پارامتر سیستم در مقابل زمان رخ می­دهد را ثبت می کند یعنی دامنه سیگنال بر حسب زمان بیان می­شود. در تحلیل حوزه زمان معمولا تعدادی از پارامترهای آماری مانند ریشه میانگین مربعات ،میانگین حسابی، ماکسیمم، مینیمم، انحراف معیار ، واریانس و کورتیسیس محاسبه شده و برای مقایسه و عیب یابی استفاده می شود. یکی از پارامترهای مناسبی که در این حوزه برای عیب یابی بیشتر استفاده می­شود ریشه میانگین مربعات می باشد.



شکل 6 مشخصه­های سیگنال ارتعاشی در حوزه زمان[5]

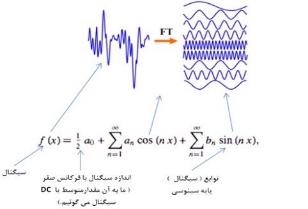
پیک : مقدار ماکسیمم دامنه سیگنال یا شدت ارتعاش

دامنه پیک تا پیک : تفاضل بیشینه و کمینه دامنه سیگنال

ریشه میانگین مربعات RMS: بیانگر قدرت سیگنال است.

روش­های حوزه فرکانس

آنالیز فرکانسی یک روش برای پیدا کردن محتویات فرکانسی سیگنال اندازه گیری شده است. با فرض تاثیر عیب بر سیگنال اندازه گیری شده ، محتویات فرکانسی یک دید درونی از این فرایند را ارائه می دهد. اساس ریاضی آنالیز فرکانسی تبدیل فوریه است.



**شکل7** آنالیز فرکانسی سیگنال به کمک تبدیل فوریه

**روش­های حوزه زمان- فرکانس**

درتجزیه وتحلیل سیگنال درحوزه های یک بعدی زمان یا فرکانس هیچکدام اطلاعات حوزه دیگر را به خوبی ارائه نمی­دهد.در برخی موارد لازم است از اطلاعات همزمان دو حوزه زمان و فرکانس، برای بررسی سیگنال استفاده نمود.

**یادگیری ماشین**

یادگیری ماشین[[3]](#footnote-3) از روش‌های هوش مصنوعی[[4]](#footnote-4) است که به سیستم توانایی یادگیری خودکار و بدون برنامه‌ریزی صریح را می‌دهد. به عبارت دیگر، هدف در ماشین لرنینگ ساخت ماشین‌های هوشمندی است که با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌ها و تجربیات، به یادگیری بپردازند. هدف اصلی ماشین لرنینگ طراحی و توسعه برنامه‌های هوشمندی است که بتوانند به داده‌ها دسترسی پیدا کنند و از آن‌ها برای یادگیری استفاده کنند.

فرآیند یادگیری با داده‌هایی به عنوان ورودی آغاز می‌شود، تا ماشین با بهره‌گیری از آن‌ها به الگوهای پنهان موجود در آن مجموعه داده دست پیدا کند و بر اساس کشف الگوهای پنهان و بینش حاصل شده، تصمیمات بهتری بگیرد. در واقع، هدف اصلی در این علم این است که به ماشین این اجازه داده شود که بدون دخالت و کمک انسان، به طور اتوماتیک یادگیری داشته باشد و بتواند اقدامات خود را مطابق با آن تنظیم کند.[6]

روش‌های یادگیری ماشین

یادگیری ماشین روش‌های گوناگونی دارد که در چهار دسته اصلی «یادگیری نظارت شده»[[5]](#footnote-5) (یادگیری با ناظر)، «یادگیری نظارت نشده[[6]](#footnote-6)» (یادگیری بدون ناظر | یادگیری غیر نظارت شده)، «یادگیری نیمه‌نظارت شده[[7]](#footnote-7)» و «یادگیری تقویتی»[[8]](#footnote-8)قرار می‌گیرند.

روش‌های نظارت شده

در روش یادگیری نظارت شده، ورودی و خروجی الگوریتم از ابتدا مشخص است. در واقع، الگوریتم یادگیری ماشین نظارت شده، شروع به تجزیه و تحلیل روی مجموعه داده‌های ورودی (داده‌های آموزش[[9]](#footnote-9)) می‌کند. در نهایت، الگوریتم یادگیری نظارت شده پس از آموزش دیدن روی مجموعه داده دارای خروجی‌های مشخص، یک الگو و یا به بیان بهتر، مدلی را استنباط می‌کند که داده‌های ورودی بر اساس آن به داده‌های خروجی مبدل می‌شوند.

ماشین آموزش دیده قادر خواهد بود با استفاده از مدل استنباط شده، خروجی را برای نمونه داده‌های جدید با یک ضریب خطای مشخص، پیش‌بینی کند. این الگوریتم می‌تواند خروجی خود را با خروجی صحیح و از قبل تعیین شده مقایسه کند و خطاهای موجود را بیابد تا بر اساس آن مدل را اصلاح کند.

روش‌های نظارت نشده

الگوریتم‌های یادگیری ماشین نظارت نشده هنگامی استفاده می‌شوند که در داده‌های مورد استفاده جهت آموزش ماشین، ورودی و خروجی سیستم از ابتدا مشخص نباشند. در واقع، در این نوع مسائل یادگیری ماشین، هدف ارتباط ورودی و خروجی نیست؛ بلکه الگوریتم یادگیری ماشین به دنبال تابعی برای توصیف ساختار پنهان و خاص موجود در داده‌ها است (منظور داده‌های ورودی است که خروجی آن‌ها مشخص نیست).

در روش‌های یادگیری ماشین نظارت نشده، الگوریتم با بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌های میان داده‌ها، به یک الگو برای خوشه‌بندی کردن داده‌ها دست پیدا می‌کند و بر اساس این الگو، می‌تواند خروجی را برای نمونه داده‌های جدید پیش‌بینی کند.

روش‌های نیمه‌نظارت شده

الگوریتم‌های یادگیری ماشین نیمه‌نظارت شده، از جمله روش‌های یادگیری ماشین هستند که می‌توان گفت بین یادگیری باناظر و یادگیری بدون ناظر قرار می‌گیرند. در یادگیری نیمه‌نظارتی، از هر دو نوع داده، یعنی داده‌هایی با خروجی مشخص (برچسب‌دار[[10]](#footnote-10)) و داده‌هایی فاقد خروجی مشخص (فاقد برچسب[[11]](#footnote-11)) برای مرحله آموزش مدل استفاده می‌شود. به طور معمول در زمان آموزش یک مدل یادگیری نیمه‌نظارت شده، از مقدار کمی از داده‌های دارای برچسب و مقدار زیادی از داده ‌های بدون برچسب بهره برده می‌شود. سیستم‌هایی که از این روش استفاده می‌کنند، به میزان قابل توجهی دقت یادگیری را بهبود می‌بخشند.[7]

درخت تصمیم گیری[[12]](#footnote-12)

یکی از روشهای یادگیری ماشین که یادگیری استقرایی مغز را شبیه­سازی می­کند، درخت تصمیم­گیری است. این روش در مقایسه با سایر روش های­محاسبه نرم تقریبا جدید محسوب می­شود. در این روش، نگاشتی از فضای مشاهده شده در مورد یک پدیده به استنتاج­هایی در مورد فضای هدف ایجاد می­شود. به سخن دیگر، درخت تصمیم یادگیری را با جستجو در فضای نمادی مشاهدات مجموعه آموزشی انجام میدهدو نتیجه را به صورت گزاره­های منطقی، قاعده­ها و یا طبقه­بندی ممکن ذخیره می­کند. با توجه به وجود فضای نمادی در شیوه­ی درخت تصمیم­گیری، لزومی بر عددی بودن داده­های ورودی وجود ندارد. در صورتی که شبکه­های عصبی فقط در فضای عددی قابل استفاده هستند و بر اساس وزن­دهی یه یک سری از پارامترها آموزش از جمله مدلهای درخت تصمیم است که در مقایسه با سایر M5P می­بینند. برعکس شبکه­های عصبی، درخت تصمیم به تولید قانون می­پردازد. مدل مدل­های درخت رگرسیونی از دقت بیشتری برخوردار است و همزمان قاعده­های ایجاد شده توسط آن نسبت به نتایج بدست آمده از شبکه عصبی قابل فهم­تر است. با این وجود عملکرد درخت تصمیم در برخی موارد ضعیف­ترین از سایر الگوریتم­های یادگیری ماشین است. دو دلیل عمده در این رابطه ذکر شده­است: اول اینکه درخت تصمیم به راحتی تحت تاثیر داده­های اریب (دارای نویز) قرار می­گیرد و دوم ویژگی­های اضافی هستند که کارایی درخت تصمیم را کاهش میدهند.

روند ایجاد درخت، شامل تقسیم فضای ورودی به چند ناحیه با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره است. در این فرایند، هر داده جدید در یکی از برگ­های درخت قرار میگیرد. این روند با توجه به شرایط تقسیم بندی بدست آمده از مرحله قبل صورت می­پذیرد. در نهایت، خروجی پیش بینی­شده

ابتدا یک درخت رگرسیون با توجه به تقسیم­بندی فضای نمونه M5P در برگ درختی که هر داده در آن قرار گرفته، محاسبه میگردد. در مدل مقدار ،M5P ایجاد می­شود. این کار برای حداقل کردن تغییرات درون داده­های هر زیرمجموعه، از ریشه تا گره و در طول شاخه­ها انجام می­شود. در تغییرات با استفاده از محاسبه انحراف معیار داده­ها مشخص می­گردد. به سخن دیگر، ویژگی­های با بیشترین مقدار کاهش خطا انتخاب می­گردند.

شاخص کاهش انحراف معیار داده­­ها توسط رابطه زیر محاسبه میشود:

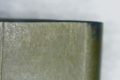


که در آن پارامترهای I و sd به ترتیب نشان دهنده مجموعه داده­های قرار گرفته در هر گره و انحراف معیار داده­ها می­باشد. Ii نیز داده­هایی را نشان می-دهد. که در نتیجه تقسیم­بندی گره با توجه به پارامترهای انتخاب شده برای تقسیم­بندی فضای داده­ها، تعیین شده­اند. پس از ایجاد شاخه­های درخت، یک مدل رگرسیون خطیِ چندمتغیره برای هر گره داخلی ساخته می­شود.

مجموعه داده

در آزمایش­های روش ارتعاشی هدف تعیین وضعیت ابزار با بررسی تغییرات سیگنال­های ارتعاشی در شرایط متفاوت ماشین کاری است بنابراین سیگنال-های ارتعاشی متغیر پاسخ و وضعیت ابزار و پارامترهای ماشین کاری به عنوان عوامل قابل کنترل در نظر گرفته شده است. برای عامل وضعیت ابزار 4 حالت سالم، ساییده کم، ساییده زیاد و شکسته انتخاب شده است.

الف ب

ج د

شکل 8 چهار وضعیت ابزاراستفاده شده در آزمایش­ها

الف) سالم ب) ساییده کم ج) ساییده زیاد د) شکسته

شکل7 نشان می­دهد تیغچه مورد استفاده با عنوان ساییده کم دچار سایش پهلو(سطح آزاد) شده است و مقدار سایش آن کمتر از 0.3 میلیمتر است که باتوجه به دسته­بندی انجام شده می­توان آن را در دسته سایش کم قرارداد. تیغچه ساییده زیاد در واقع دارای عیب لب پریدگی است وتیغچه شکسته شده پس از شکست یک زاویه شبیه زاویه براده مثبت ایجاد نموده ولبه برنده کاملا دچار آسیب و شکست شده است.[8]

تجهیزات آزمایش

1-هلدر25\*25\*160

2-تیغچه PM08 کاربیدی پوشش دار(ساخت Zcc چین)

3-میله ترانس یک پاسه قطر mm30

4-دستگاه تراش TN50Brساخت تبریز(با حداقل لقی و فرسودگی وارتعاش)

5-سنسور شتاب سنج Global Test-AP98 (با فاصله 40 میلیمتر از نوک ابزار )

6-سیستم داده برداری DAQ-Advantech4704 که توسط نرم افزار Lab view داده های آن پردازش می­گردد.

شرايط انجام تست

١-درتمامي تستها عمق بار يك ميليمتر در نظر گرفته شده است.

٢-طول ابزار خارج از ابزارگير ٧٢ ميليمتر ميباشد.

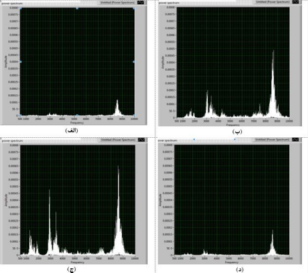
٣-ميزان سفت كردن پيچهاي رنده بند دستگاه با استفاده از ترك متراندازه گيري و به طور يكسانkmp 5 ميباشد.

4- تمامي تستها بدون استفاده از مايع خنك كاري انجام گرفته است .

5- سرعت دورانی تمام تست ها 355 دور بر دقیقه و سرعت پیشروی تمام تست ها 08/0 میلی متر بر دور می باشد.

آزمایش ها و نتایج روش ارتعاشی درحوزه فرکانس و ویژگی FFT به کمک یادگیری ماشین

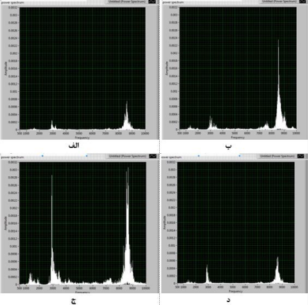
در شکل هاي9 و 10 و 11 و 12 نمودارهاي ارتعاشی ابزار در حوزه فرکانس FFT با شرایط مختلف ماشینکاري، براي چهار وضعیت متفاوت ابزار نشان داده شده است.واحد قسمت افقی فرکانس به Hz و واحد قسمت عمودي نوسان به mV.



شکل9 نمودار FFT ارتعاشات ابزار با سرعت برشی 2 / 31 متر بر دقیقه

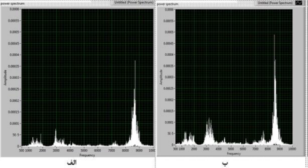
(دور 355 ) و پیشروي 08 / 0 میلمتر بر دور

الف) ابزار سالم ب)ابزارساییده کم ج) ابزار ساییده زیاد د)ابزار شکسته



شکل 10 نمودار FFT ارتعاشات ابزار با سرعت برشی 4 / 62 متر بر دقیقه )دوران 710( و پیشروي 08 / 0 میلمتر بر دور

الف) ابزار سالم ب) ابزارساییده کم ج)ابزار ساییده زیاد د) ابزار شکسته





شکل 11 نمودار FFT ارتعاشات ابزار با سرعت برشی 2 / 31 متر بر دقیقه )دور 355)و پیشروي 32 / 0میلمتر بر دور

الف) ابزار سالم ب) ابزارساییده کم ج) ابزار ساییده زیاد د) ابزار شکسته

در ادامه این روش نیز با توجه به نمودار هاي کیفی موجود که از هر یک از شرایط ماشینکاري (سرعت برشی و پیشروي) متفاوت به دست آمده بود توانستیم پیک هاي موجود در نمودارها را که در سه بازه ي فرکانسی مختلف قرار داشت به صورت اعدادي با دقت بالا مشخص کنیم.سپس با تشکیل جدول و شماره آزمایش هاي صورت گرفته این اعداد به همراه شرایط ماشینکاري (سرعت برشی و پیشروي) را به صورت داده هایی وارد شبکه عصبی مصنوعی کرده و خروجی مطلوبی از آن به صورت (ابزار سالم – ابزار ساییده کم – ابزار ساییده زیاد – شکسته) به دست بیاوریم.[8]

براي آموزش ماشین مورد نیاز در این پژوهش از 5 عدد ورودي استفاده کرده ایم.داده هاي ورودي عبارتند از:

1 -پیشروي:آزمایش هاي صورت گرفته با دوتا پیشروي متفاوت 08 / 0 میلی متر بر دور و 32 / 0 میلی متر بردور انجام شده است.

2 -سرعت برشی:سرعت هاي برشی مورد استفاده در این آزمایش دو مقدار 2 / 31 متر بر دقیقه و 4 / 62 متر بر دقیقه می باشد.

3 -دامنه نوسان اولین پیک موج:با توجه به محسوس بودن پیک هاي موج موجود در بازه فرکانسی 500 تا-2000 هرتز در نظر گرفته شده است.

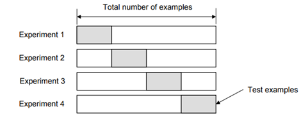
4 -دامنه نوسان دومین پیک موج:با توجه به محسوس بودن پیک هاي موج موجود در بازه فرکانسی 2000 تا4000 هرتز در نظر گرفته شده است.

5 -دامنه نوسان سومین پیک موج:با توجه به محسوس بودن پیک هاي موج موجود در بازه فرکانسی 8000 تا10000 هرتز در نظر گرفته شده است.

با توجه به محدود بودن تعداد داده های تجربی، جهت انتخاب بین داده های آموزش و آزمایش، از دو الگوریتم “Kfold” و “Hold\_out’ استفاده و خروجی آن ها با هم مقایسه شدند .

الگوریتم Kfold

در این روش اعتبار سنجی داده ها، k بار متفاوت و هر بار قسمت متفاوتی از داده ها به عنوان داده­های آموزش و تست در نظر گرفته می­شوند و نتیجه میانگین نتایج خواهد بود . در این روش، m نمونه ی موجود به k زیر مجموعه مجزا با اندازه های m/k تقسیم می­شوند. فرآیند اعتبار سنجی، kبار و با استفاده از یکی از این k زیر­مجموعه به عنوان دسته تایید و بقیه ی نمونه ها به عنوان مجموعه ی اموزشی اجرا می شود . بنابراین، هر نمونه در یک آزمایش در دسته ی تایید و در k-1 آزمایش در دسته­ی آموزشی خواهد بود . در هر یک از آزمایش های روش اعتبار سنجی فوق، برای تعیین تعداد تکرارها، i، مورد استفاده قرار می­گیرد، i شماره تکراری است که در آن دسته ی تایید بهترین خطا را داشته است. میانگین i برای این مقادیر محاسبه می­شود، در انتها نیز از backprogation برای آموزش شبکه بر روی تمامی n نمونه بدون دسته­ی تایید با تعداد تکرار میانگین iها استفاده می شود . [9]



شکل 12 مبنای عملکرد الگوریتم kfold

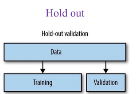
یکی از نکات مهم در استفاده از الگوریتم kfold، تعیین k می باشد . در این پژوهش با تغییر k در بازه ی 10الی 30، عملکرد[[13]](#footnote-13) ماشین بین 65 الی 92تغییر کرد . درصد عملکرد 92 مربود به k=15 می باشد که به عنوان k بهینه انتخاب شد.



شکل 13 مبنای محاسبه عملکرد کل در الگوریتم kfold

الگوریتم hold\_out

در این روش، داده‌ها به دو دسته train و test تقسیم می‌شوند. این تقسیم می‌تواند به صورت 40/60 ، 30/70 یا 20/80 باشد. بنابراین مدل مورد نظر روی داده‌های train آموزش دیده و روی داده‌های test مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به این روش، اعتبارسنجی Holdout گفته می‌شود. در روش Holdout، اگر کلاس‌های مختلف در هر گروه test یا train توزیع یکسانی نداشته باشند، مدل، درست آموزش نخواهد دید. از این جهت کلاس‌ها باید توزیع یکسانی در هر دو گروه train و test داشته باشند. به این پروسه، stratification گفته می‌شود.[10]



شکل 14 مبنای عملکرد الگوریتم “hold\_out”

با استفاده از الگوریتم hold\_out ، عملکر ماشین، 87 درصد بود .

این عدد نشان می دهد، در صورتی که تعداد داده های موجود کم باشند، kfold عملکرد بهتری نسبت به hold\_out خواهد داشت .

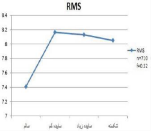
آزمایش ها و نتایج روش ارتعاشی درحوزه زمان و ویژگی RMS

در شکل هاي 15 و 16 و 17 و 18 نمودارهاي وضعیت ابزار در حوزه زمان (RMS) با شرایط مختلف ماشینکاري، براي چهار وضعیت متفاوت ابزار نشان داده شده است.

شکل 16 : نمودار مجموع مربعات (RMS) براي سرعت پیشروي 0.08 میلی متر بر دورو سرعت برشی 31.2 متر بر دقیقه

**شکل15**  نمودار مجموع مربعات (RMS) براي سرعت پیشروي 0.08 میلی متر بر دورو سرعت برشی 62.4 متر بر دقیقه



**شکل 18 :** نمودار مجموع مربعات (RMS) براي سرعت پیشروي 0.32 میلی متر بر دورو سرعت برشی 31.2 متر بر دقیقه پیشروي 0.08 میلی متر بر دورو سرعت برشی 31.2 متر بر دقیقه

**شکل 17 :** نمودار مجموع مربعات(RMS) براي سرعت پیشروي 0.32 میلی متر بر دور و سرعت برشی 62.4 متر بر دقیقه پیشروي 0.08 میلی متر بر دورو سرعت برشی 62.4 متر بر دقیقه

در این قسمت با توجه به نمودار هاي موجود که از هر یک از شرایط ماشینکاري (سرعت برشی و پیشروي) متفاوت به دست آمده بود اعداد مربوط به هر یک از وضعیت ابزار را مشخص کنیم.سپس با تشکیل جدول وشماره آزمایش هاي صورت گرفته این اعداد به همراه شرایط ماشینکاري (سرعت برشی و پیشروي) را به صورت داده هایی وارد ماشین کرده و خروجی مطلوبی از آن به صورت (ابزار سالم – ابزار ساییده کم – ابزار ساییده زیاد – شکسته) به دست بیاوریم.[11]

در این قسمت نیز یکبار از الگوریتم kfold و یکبار از الگوریتم hold\_out استفاده کردیم، که عملکرد ماشین به ترتیب 93 و 88 درصد بدست آمد .

پایش وضعیت ابزار با استفاده از اطلاعات سیگنال های ارتعاش با تلفیق داده های به دست آمده از دو مشخصه RMS-FFT به کمک یادگیری ماشین این قسمت با توجه به نمودار هاي کیفی موجود در دو روش RMS-FFT که از هر یک از شرایط ماشینکاري (سرعت برشی و پیشروي) متفاوت به دست آمده بودند و توانسته بودیم پیک هاي موجود در نمودارها را که در سه بازه ي فرکانسی مختلف قرار داشت به صورت اعدادي با دقت بالا مشخص کنیم را به صورت تلفیقی مورد استفاده قرار می دهیم. ما از این کار انتظار داریم الگوریتمی را تشکیل دهیم که دقت بسیار خوبی را به ما بدهد. در مراحل قبل هر ویژگی از سیگنال هاي ارتعاشی را به طور دقیق به صورت تک تک باکمک یادگیری ماشین، آموزش و اجرا می کردیم اما اکنون در نظر داریم با تلفیق داده هاي مختلفی که از هر ویژگی سیگنال هاي ارتعاشی اعم از RMS ، FFT به دست آمده است الگوریتمی را آموزش دهیم و بتوانیم میزان سایش ابزار را پیش بینی نماییم.

حال با اتمام کار و تشکیل الگوریتم یادگیری ماشین براي این داده ها براي اطمینان از عملکرد صحیح ماشین تعداد 4 آزمایش که قبل انجام گرفته بود را براي ارزیابی ماشین انتخاب کرده و مشاهده شد که پاسخ یادگیری ماشین با دقت بسیار بالا به نزدیک خروجی مطلوب می باشد.

نتیجه گیری

در این تحقیق به منظور ارائه یک سیستم پایش وضعیت دقیق و کارآمد از یک سیستم خبره عیب یابی به نام یادگیری ماشین استفاده شده است.از آنجایی که هدف رسیدن به بالاترین درصد تشخیص درست مقدار سایش و شکست ابزار می باشد ویژگی هاي مناسب از هر روش مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش،آزمایش هاي مختلفی با استفاده از ابزار تراشکاري بر روي قطعه کار مدور انجام شده است و به وسیله روش ارتعاشی، داده هاي متناسب با آموزش ماشین از این آزمایش استخراج شده است.در نهایت با استفاده از الگوریتم توانستیم دقت بالایی از پایش وضعیت ابزار به صورت آنلاین و پیش بینی عیب هاي پیش روي ابزار داشته باشیم.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| حوزه زمان و فرکانس | حوزه زمان | حوزه فرکانس | حوزه  عملکرد | الگوریتم |
| 93 | 90 | 92 | Kfold |
| 88 | 86 | 87 | 1. Hold\_out |

جدول 1 مقایسه عملکرد ماشین با استفاده از

الگوریتم هایkfold و hold\_out

با توجه به جدول 1، نتیجه گیری می شود که در آزمایش هایی که محدودیت داده تجربی وجود دارد، الگوریتم kfold به دلیل مبنای عملکرد خود ( تکرار) عملکرد بهتری نسبت به hold\_out دارد . البته باید در نظر داشت انتخاب k بهینه نیز در عملکرد ماشین تاثیر بسزایی دارد که در این پژوهش k بهینه 15 در نظر گرفته شده است .

فهرست منابع

[1] A. Sidd hpura and R. Paurobally(2012),” A review of flank wear prediction met hods for tool condition monitoring in a turning process” Springer. Int J Adv Manuf Technol 65:371–393

[2]Kryter, R. C., & Haynes, H. D., 2011 Condition Monitoring of Machinery

Using Motor Current Signature Analysis. Sound & Vibration, 23(9),

[3] -A. Devillez and D. Dudzinski . 2006''Tool vibration detection with eddy current sensors in machining process and computation of stability lobes using fuzzy classifiers." Mechanical Systems and Signal Processing, In Press, Corrected Proof,

[4] - M. Thomas, Y. Beauchamp, A. Y. Youssef and J. Masounave. 1992'' Effect of tool vibrations on surface roughness during lathe dry turning process .'' Computers & Industrial Engineering, Volume 31, Issues 3-4, Pages 629-640

[5]دانش مهدی، خلیلی خلیل 1393پایش وضعیت سایش ابزار براده برداری با استفاده از انتگرال حاشیه­ای زمان- فرکانس سیگنال جریان موتور اسپیندل ،.ماهنامه علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مدرس دوره14شماره16 ص181-189

[6] PATANGE, A. D., JEGADEESHWARAN, R. & DHOBALE, N. C. 2019. Milling cutter condition monitoring using machine learning approach. IOP Conference Series: Materials Science

and Engineering, 624, 012030.

[7] SHANKAR, S., MOHANRAJ, T. & PRAMANIK, A. 2019a. Tool Condition Monitoring While Using Vegetable Based Cutting Fluids During Milling of Inconel 625. Journal of Advanced Manufacturing Systems, 18, 563-581.

[8]حمزه لو ، عودی زارع."1395 پایش وضعیت ابزار در ماشین کاری با استفاده ازمشخصه های سیگنال های ارتعاشی و روش امپدانس الکترومکانیکی "

[9] A.N.Zagrai, 2001, “Piezoelectric-wafer Active Sensor Electro-Mechanical Impedance Structural Health Monitoring”, submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Phd Degree of University of South Carolina

[10] Yaowen Yang, Yuhang Hu and Yong Lu, 2008 “Sensitivity of PZT Impedance Sensor for Damage Detection of Concrete Structures”, sensors, 8, 327-346.

[11] Victor Giurgiutiu, 2002" Structural Health Monitoring with Piezoelectric Wafer Active Sensors "of Doctor of Philosophy, University of South Carolina PIEZO SYSTEMS, INC. CATALOG #8, 2011. www.piezo.com

1. Condition monitoring [↑](#footnote-ref-1)
2. On line [↑](#footnote-ref-2)
3. Machine learning [↑](#footnote-ref-3)
4. Artificial Intelligence [↑](#footnote-ref-4)
5. Supervised Learning [↑](#footnote-ref-5)
6. Unsupervised Learning [↑](#footnote-ref-6)
7. Semi-Supervised Learning [↑](#footnote-ref-7)
8. Reinforcement Learning [↑](#footnote-ref-8)
9. Train Data | Train Set [↑](#footnote-ref-9)
10. Labeled Data [↑](#footnote-ref-10)
11. Unlabeled Data [↑](#footnote-ref-11)
12. Desiction tree [↑](#footnote-ref-12)
13. performance [↑](#footnote-ref-13)