



دانشکده فنی-مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

عنوان:

جداسازی منابع مخفی برای چندین سیگنال ارتعاشی در حوزه فرکانسی و تشخیص عیب چرخ دنده

استاد راهنما:

دکتر مهدی کریمی

پژوهشگر:

مجید طارمی

اردیبهشت ماه ۱۳۸۹



دانشکده فنی-مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

عنوان:

جداسازی منابع مخفی برای چندین سیگنال ارتعاشی در حوزه فرکانسی و تشخیص عیب چرخ دنده

استاد راهنما:

دکتر مهدی کریمی

پژوهشگر:

مجید طارمی

اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی (یا استاد یا اساتید راهنمای پایان نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

تشکر و قدردانی:

از تلاش‌های مسئولین دانشگاه بوعلی سینا در راستای تأمین امکانات لازم و همکاری‌های بی دریغ آنان که مسیر پژوهش و تعلیم را هموارتر ساخته است کمال تشکر را به عمل می‌آورم.

از تلاش‌های استاد محترم جناب آقای **دکتر مهدی کریمی** که همواره با رفتار بزرگوارانه و همت استادانه خویش اینجانب را در زمینه‌های مختلف اعم از تعریف موضوع پایان‌نامه، معرفی منابع، مطالعه گزارش‌های مستمر، راهنمایی‌های متعدد و مداوم در مقاطع زمانی مختلف، تصحیح متون مقالات و پایان‌نامه، یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی می‌نمایم. همچنین لازم می‌دانم از دوست عزیزم جناب آقای مهندس سازگار به منظور کمک‌های شایان ایشان در رابطه با اکتساب داده‌ها و مراحل مختلف انجام این پژوهش، تشکر نمایم.

خالصانه‌ترین تشکر خود را از پدر بزرگوار و مادر عزیزم دارم، آن دو گوهر گرانقدر که هر چه هستم و نیستم از وجود پاک و مهربان آنهاست.

مجید طارمی

۱۳۸۹/۲/۱۳



دانشگاه بوعلی سینا
مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

جداسازی منابع مخفی برای چندین سیگنال ارتعاشی در حوزه فرکانسی و تشخیص عیب چرخ دنده

نام نویسنده: مجید طارمی

نام استاد راهنما: دکتر مهدی کریمی

دانشکده: فنی مهندسی - دانشگاه بوعلی

گروه آموزشی: مکانیک

رشته تحصیلی: مهندسی مکانیک

گرایش تحصیلی: طراحی کاربردی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ تصویب: ۱۳۸۷/۴/۶

تاریخ دفاع: ۱۳۸۹/۲/۱۳

تعداد صفحات: ۱۶۸

چکیده:

روش‌های تعمیر و نگهداری سنتی بر مبنای کار دستگاه تا شکست و انهدام بوده و سپس به نگهداری پیشگیرانه تبدیل شده است. امروزه دیگر هیچ از یک دو روش ذکر شده موفق نبوده، بلکه از روش نگهداری پیش‌بینانه جهت تعمیر و نگهداری استفاده می‌شود. در این رابطه ارتعاشات به دلیل پایدار بودن در مقایسه با پارامترهای دیگر همچون درجه حرارت روغن، کاربرد فراوانی یافته است. هدف از انجام این پروژه، استفاده از روشی با نام جداسازی منابع مخفی برای جدا کردن سیگنال‌های ارتعاشی است. جداسازی منابع مخفی یکی از تکنیک‌های جدید حوزه پردازش سیگنال می‌باشد، که شامل بازیابی منابع و سیستم ترکیبی مجهول، تنها از روی سیگنال‌های ترکیبی اندازه‌گیری شده توسط سنسورهاست. این دیدگاه بطور موفقیت آمیزی در بسیاری از زمینه‌ها مانند ارتباطات، رادار، اصوات درون آب، پزشکی استفاده شده است. اما جداسازی منابع مخفی کمتر برای پایش و عیب‌یابی سیستم‌های مکانیکی مانند سیگنال‌های اخذ شده از یک ماشین دوار بکار گرفته شده است. این دیدگاه در حوزه جداسازی مخلوط‌های آبی بسیار موفق ظاهر شده است. با وارد شدن در حوزه فرکانس، می‌توان روش جداسازی منابع کور را برای سیگنال‌های کانولو، مربوط به سیگنال‌های گرفته شده از سیستم‌های مکانیکی، نیز بکار برد. برای جداسازی سیگنال‌های کانولو، از آمار مرتبه دوم (ماتریس‌های کوواریانس) به همراه آمار مرتبه بالا (ماتریس‌های کامبولنت مرتبه چهارم) به عنوان تابع کنتراست و از الگوریتم بهینه‌ساز ژاکوبی برای دستیابی به ماتریس ترکیب سیگنال‌های سنسور، استفاده شده است. برای شناسایی فرکانس عیب از تابع تبدیل هیلبرت و همچنین کنتراست کورتوسیس استفاده می‌نماییم. جداسازی سیگنال‌های شبیه‌سازی شده برای سیستم جعبه‌دنده مجازی و همچنین سیگنال‌های واقعی گرفته شده از دستگاه نمونه آزمایش برای شناسایی چرخ دنده معیوب کارایی الگوریتم ارائه شده را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: جداسازی منابع مخفی، حوزه فرکانسی، کوواریانس، کامبولنت‌های مرتبه چهارم، کورتوسیس، تابع تبدیل هیلبرت، تشخیص چرخ دنده معیوب

فهرست مطالب

فصل ۱: پیشگفتار.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
فصل ۲: مقدمه‌ای بر روش‌های تعمیر و نگهداری.....	۸
۱-۲- مقدمه.....	۹
۲-۲- معرفی شیوه‌های مختلف نگهداری و تعمیرات.....	۹
۱-۲-۲- نگهداری و تعمیرات عکس‌العملی.....	۱۰
۲-۲-۲- نگهداری و تعمیرات دوره‌های TBM.....	۱۰
۳-۲-۲- نگهداری و تعمیرات بر اساس وضعیت.....	۱۱
۴-۲-۲- نگهداری و تعمیرات فعال.....	۱۲
۳-۲- آشنایی با پایش وضعیت CM.....	۱۲
۱-۳-۲- اهداف و مزایای CM.....	۱۲
۲-۳-۲- اجزای تشکیل دهنده CM.....	۱۴
۳-۳-۲- تکنیک‌های پایش وضعیت.....	۱۵
۴-۲- خلاصه.....	۲۱
فصل ۳: مروری بر آنالیز مولفه‌های مستقل و جداسازی منابع کور.....	۲۲
۱-۳- مقدمه.....	۲۳
۲-۳- آنالیز مولفه‌های اصلی.....	۲۴
۳-۳- آنالیز فاکتور.....	۲۶
۴-۳- شفاف‌سازی.....	۲۷
۵-۳- آنالیز مولفه‌های مستقل چیست؟.....	۲۹
۶-۳- بررسی قواعد BSS.....	۳۷
۷-۳- سیگنال‌های ترکیب شده.....	۳۸
۸-۳- تعداد منابع و مخلوط‌ها.....	۴۰
۹-۳- ترکیب کردن و جدا کردن.....	۴۰
۱-۹-۳- سیگنال‌ها، متغیرها، و اسکالرها.....	۴۰
۲-۹-۳- نمایش دادن سیگنال‌ها: بردارها و متغیرهای بردار.....	۴۱
۳-۹-۳- ترکیب کردن و جدا کردن سیگنال‌ها.....	۴۲
۱۰-۳- استقلال و توابع چگالی احتمال.....	۴۵
۱-۱۰-۳- هیستوگرام.....	۴۵
۲-۱۰-۳- تابع چگالی احتمال.....	۴۶
۱۱-۳- ممان‌ها (کامپولنت‌ها): میانگین، واریانس، چولگی و کورتوسیس.....	۴۷
۲-۱۱-۳- ممان اول.....	۴۷

۴۸	۳-۱۱-۳- ممان دوم
۴۹	۳-۱۱-۴- ممان سوم
۴۹	۳-۱۱-۵- ممان چهارم
۵۱	۳-۱۲- استقلال و وابستگی
۵۲	۳-۱۳- جداسازی منابع کور: پایش سیستمهای مکانیکی
۵۴	۳-۱۴- قواعد جداسازی منابع کور - سیستمهای مکانیکی
۵۹	۳-۱۵- جداسازی کور منابع ارتعاشی : لیست مشکلات
۵۹	۳-۱۵-۱- ابهامات اساسی
۶۰	۳-۱۵-۲- ارتباط فیزیکی منابع
۶۱	۳-۱۵-۳- تئوری جداسازی کور نیازمند تعداد بسیار محدودی از منابع است
۶۱	۳-۱۵-۴- در BSS تعداد دقیق منابع باید از قبل معلوم باشند
۶۲	۳-۱۵-۵- قابلیت وارونگی سیستم
۶۳	۳-۱۶- فرموله کردن جداسازی منابع کور برای سیستمهای مکانیکی با استفاده از دیدگاه فرکانسی
۶۳	۳-۱۶-۱- مفهوم کلی
۶۴	۳-۱۶-۲- مدل مخلوط آنی
۶۵	۳-۱۶-۳- مدل مخلوط ترکیبی و دیدگاه فرکانسی
۶۷	۳-۱- دور نمایی از جداسازی منابع مخفی در تشخیص عیب
۶۸	۳-۲- خلاصه و نتیجه گیری
۶۹	فصل ۴: دکورلیشن مخفی توسط آمار مرتبه دوم و بالاتر
۷۰	۴-۱- مقدمه
۷۱	۴-۲- دیدگاه بچ
۷۴	۴-۳- طراحی الگوریتم برای عیب یابی منابع ارتعاشی
۷۵	۴-۳-۱- انتخاب کامیولنت مرتبه چهارم بعنوان تابع کنتراست
۷۷	۴-۳-۲- آمار مرتبه بالا و روش تکرار ژاکوبی: تشریح الگوریتم
۷۷	۴-۳-۳- علائم و فرضها
۷۹	۴-۳-۴- استفاده از آمار مرتبه دوم (second-order statistics)
۷۹	۴-۳-۵- تعیین ماتریس یکتای U
۸۰	۴-۳-۶- دیدگاههای مبتنی بر تجزیه مقادیر ویژه
۸۰	۴-۳-۷- دیدگاههای مبتنی بر بهینه سازی ضوابط کامیولنت
۸۱	۴-۳-۸- قطری سازی پیوسته (joint diagonalization)
۸۳	۴-۳-۹- تست عملکرد الگوریتم با سیگنالهای شبیه سازی شده
۸۶	۴-۴- لزوم استفاده از الگوریتم پوش
۸۶	۴-۴-۱- آنالیز ارتعاشات چرخنده
۸۸	۴-۴-۲- تبدیل هیلبرت

۸۹	۴-۳- بررسی روش پیشنهاد شده
۹۳	۴-۵- مروری بر پژوهش‌های انجام شده برای عیب‌یابی چرخ‌دنده
۹۹	۴-۶- خلاصه
۱۰۰	فصل ۵: اکتساب داده
۱۰۱	۵-۱- مقدمه
۱۰۲	۵-۲- تجهیزات آزمایش
۱۰۳	۵-۳- ترانس‌دیوسر
۱۰۷	۵-۳-۲- سخت افزار سیستم اکتساب داده‌ها
۱۰۷	۵-۳-۳- A/D های همزمان
۱۰۸	4-3-5- کولینگ AC
۱۰۹	۵-۳-۵- نرم افزار اکتساب داده‌ها
۱۱۰	۵-۳-۶- مشخصات چرخ‌دنده
۱۱۴	۵-۴- سیگنال‌های ترکیبی بدست آمده از شتاب سنج‌ها
۱۱۸	۵-۵- خلاصه
۱۱۹	فصل ۶: نتایج
۱۲۰	۶-۱- شبیه سازی عددی
۱۲۳	۶-۲- تست الگوریتم با سیگنال های واقعی
۱۲۳	۶-۲-۱- روند اجرا
۱۲۵	۶-۲-۲- نتایج جداسازی برای روز اول
۱۲۶	۶-۲-۳- نتایج جداسازی برای روز ششم
۱۲۸	۶-۲-۴- نتایج جداسازی برای روز دهم
۱۳۰	۶-۲-۵- نتایج جداسازی برای روز دوازدهم
۱۳۲	۶-۳- استفاده از کورتوسیس برای عیب‌یابی
۱۳۳	۶-۴- جداسازی سیگنال‌های چرخ‌دنده در حوزه زمان
۱۳۵	۶-۵- استفاده از روش حوزه فرکانس برای عیب‌یابی یاتاقان
۱۳۵	۶-۵-۱- بلبرینگ
۱۳۶	۶-۶- فرکانس عیب
۱۳۹	۶-۷- خلاصه
۱۴۱	فصل ۷: جمع بندی و پیشنهادات
۱۴۲	۷-۱- جمع بندی
۱۴۴	۷-۲- نوآوری
۱۴۵	۷-۳- پیشنهادات جهت تحقیقات آینده
۱۴۷	پیوست‌ها
۱۶۲	منابع و ماخذ

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) تجهیزات و کاربرد تکنیک‌های مختلف CM..... ۱۶
- جدول (۱-۵) عیب‌های ایجاد شده در چرخ دنده کوچک..... ۱۱۳
- جدول (۱-۶) تغییرات کورتوسیس با گسترش عیب..... ۱۳۳

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) نمایش بلوک دیاگرام مسائل مرتبط با جداسازی منبع مخفی [۲]..... ۳
- شکل (۲-۱) شمایی از الگوریتم BSS..... ۶
- شکل (۱-۳) استفاده از ICA برای بازیابی منابع [۱۵]..... ۲۳
- شکل (۲-۳) اختلاف در دامنه منابعی که توسط دو میکروفن ثبت شده‌اند [۱۵]..... ۳۰
- شکل (۳-۳) جداسازی سخن توسط آنالیز مولفه‌های مستقل [۱۵]..... ۳۱
- شکل (۴-۳) پردازش تصویر توسط آنالیز مولفه‌های مستقل [۱۵]..... ۳۱
- شکل (۵-۳) سیگنالهای منبع (سمت چپ) و ترکیب آنها (سمت راست) [۱۵]..... ۳۸
- شکل (۶-۳) نرمالیت. چپ: سیگنال منبع گفتاری در بالا و هیستوگرام آن در قسمت پایین، وسط: سیگنال منبع دندانهای (بالا) و هیستوگرام (پایین)، راست: سیگنال ترکیب (بالا) و هیستوگرام (پایین) [۱۵]..... ۳۹
- شکل (۷-۳) پیچیدگی: پیچیدگی سیگنال ترکیبی از منابع بیشتر می‌باشد. دو سیگنال اول مربوط به سیگنال منابع و سیگنال پایین سیگنال ترکیبی آنهاست. [۱۵]..... ۴۰
- شکل (۸-۳) بالا: دو سیگنال گفتاری متفاوت، نمونه برداری شده در هر میلی ثانیه برای ۲۰۰ میلی ثانیه، پایین: بزرگنمایی از سیگنال های گفتاری، که مقادیر دامنه را در ۱۰ میلی ثانیه نشان می‌دهد. [۱۵]..... ۴۱
- شکل (۹-۳) سیگنال ترکیبی ثبت شده توسط سنسور [۱۵]..... ۴۳
- شکل (۱۰-۳) فرایند ترکیب و جداسازی سیگنالها توسط BSS [۱۵]..... ۴۴
- شکل (۱۱-۳) در هیستوگرام امین باند با مرز $[x_i, x_i + \Delta x]$ برآوردی از تعداد m_i از مقادیر اندازه گیری شده که بین بازه X_i و $x_i + \Delta x$ قرار دارد، می باشد. [۱۵]..... ۴۶
- شکل (۱۲-۳) یک مثال کلی که مورد توجه تئوری جداسازی منابع کور می باشد. [۶۰]..... ۵۴
- شکل (۱۳-۳) سیستم تعلیق: جابجایی X و چرخش θ اندازه های گرفته شده توسط سنسورها و F_1 و F_2 دو منبع مجهول هستند که از فرض استقلال بصورت کور قابل بازیابی می باشند. [۶۰]..... ۵۵
- شکل (۱۴-۳) یک مثال کلی از منابعی که به صورت کور بازیابی شده اند. BSS اطلاعاتی در مورد ماهیت نیروها، محل اعمال نیرو و شدت آنها نمی دهد. [۶۰]..... ۶۰
- شکل (۱۵-۳) تعداد منابع در تماس روی سیستم های مکانیکی بیشتر از حد انتظار است. در اینجا باید به جای دو منبع (الف)، چهار منبع مستقل (ب) در نظر گرفته شود. [۶۰]..... ۶۱
- شکل (۱۶-۳) تعداد منابع بسیار زیاد است و به سختی از قبل قابل تعیین است. [۶۰]..... ۶۲
- شکل (۱۷-۳) سیستم به خاطر نزدیک بودن منابع شرایط معکوس پذیری ندارد. [۶۰]..... ۶۳
- شکل (۱۸-۳) سیستم برای بیشتر از سه منبع آماری معکوس پذیر نیست. [۶۰]..... ۶۳
- شکل (۱۹-۳) فلوچارت جداسازی منابع مخفی ارتعاشی بوسیله دیدگاه فرکانسی..... ۶۶
- شکل (۱-۴) مدل پایه برای شفاف سازی سیگنال های سنسور [۹]..... ۷۱
- شکل (۲-۴) تاثیر شفاف سازی بر سیگنال های مشاهده شده [۹]..... ۷۲
- شکل (۳-۴) سه تبدیل اساسی از سیگنال های سنسور توسط شفاف سازی، PCA و ICA [۹]..... ۷۳
- شکل (۴-۴) سیگنال های منابع اصلی در حوزه زمان و فرکانس..... ۸۴
- شکل (۵-۴) منبع دوم: نویز گاوسین..... ۸۴
- شکل (۶-۴) منبع سوم: متغیر تصادفی با توزیع یکسان..... ۸۵
- شکل (۷-۴) نتایج جداسازی توسط الگوریتم: سطر اول-منابع، سطر دوم-سیگنال های سنسور، سطر سوم- تخمین منابع..... ۸۵
- شکل (۸-۴) نمودار حوزه زمانی سیگنال شبیه سازی شده..... ۹۰
- شکل (۹-۴) نمودار حوزه فرکانسی سیگنال شبیه سازی شده..... ۹۱
- شکل (۱۰-۴) تبدیل هیلبرت از نمودار حوزه زمان..... ۹۲

- شکل (۴-۱۱) تبدیل هیلبرت از نمودار حوزه فرکانس..... ۹۲
- شکل (۴-۱۲) دیاگرام انتقالی جعبه دنده [۸۹]..... ۹۴
- شکل (۴-۱۳) سیگنالهای اصلی جعبه دنده [۸۹]..... ۹۴
- شکل (۴-۱۴) طیف انرژی سیگنال های ارتعاشی [۸۹]..... ۹۵
- شکل (۴-۱۵) طیف چگالی انرژی از پوش سیگنال [۸۹]..... ۹۵
- شکل (۴-۱۶) سیگنال بازسازی شده از نتایج تبدیل موجک [۸۹]..... ۹۶
- شکل (۴-۱۷) کورتوسیس طیفی اندازه گیری شده روی جعبه دنده که در معرض آزمایش عیب پیش رونده قرار داده شده است. مقادیر بالا و غیر عادی کورتوسیس در روزهای ۲، ۶، ۸ و ۱۰ بدست آمده اند. [۹۰]..... ۹۷
- شکل (۴-۱۸) الف-سیگنال اخذ شده از سیستمی با عیب در حلقه داخلی یاتاقان، مقدار کورتوسیس در این حالت بالاست. ب-سیگنال اخذ شده از سیستمی با عیب در ساچمه یاتاقان که با نویز آغشته شده است، کورتوسیس در این حالت نزدیک به صفر است. [۹۰]..... ۹۹
- شکل (۵-۱) تجهیزات مورد نیاز برای اکتساب داده..... ۱۰۲
- شکل (۵-۲) دستگاه آزمایش، شامل منابع متعدد ارتعاشی..... ۱۰۳
- شکل (۵-۳) بخش های مختلف یک شتاب سنج..... ۱۰۶
- شکل (۵-۴) شماتیک دستگاه آزمایش، شتاب سنجهای روی بلبرینگ های سالم ۱ و ۳ نصب شده اند..... ۱۰۶
- شکل (۵-۵) جعبه ابزار اکتساب داده ها سیگنال های ارتعاشی را جمع آوری نموده و نرم افزار متلب به نمایش و تحلیل داده می پردازد..... ۱۱۰
- شکل (۵-۶) ایجاد حفره های ریز در پای دندان (PITTING)..... ۱۱۱
- شکل (۵-۷) ایجاد تراشه در دندان چرخ دنده (CHIPPING)..... ۱۱۱
- شکل (۵-۸) شکست در دندان چرخ دنده (TOOTH BREAKAGE)..... ۱۱۱
- شکل (۵-۹) نمونه ای از عیب ایجاد شده در چرخ دنده تحت آزمایش با شکستگی تقریباً کامل یکی از دندانها..... ۱۱۳
- شکل (۵-۱۰) پیشرفت عیب در چرخ دنده کوچک (افزایش طول شکستگی در دندان)..... ۱۱۳
- شکل (۵-۱۱) سیگنال ثبت شده از سنسور شماره ۱ و ۲ در حالت جعبه دنده عادی-روز اول..... ۱۱۴
- شکل (۵-۱۲) سیگنال ثبت شده از سنسور شماره ۱ و ۲ در حالت جعبه دنده عادی-روز دوم..... ۱۱۴
- شکل (۵-۱۳) سیگنال ثبت شده از سنسور شماره ۱ و ۲ در حالت جعبه دنده عادی-روز سوم..... ۱۱۴
- شکل (۵-۱۴) سیگنال ثبت شده از سنسور شماره ۱ و ۲ در حالت جعبه دنده عادی-روز چهارم..... ۱۱۵
- شکل (۵-۱۵) سیگنال ثبت شده از سنسور شماره ۱ و ۲ در حالت جعبه دنده عادی-روز پنجم..... ۱۱۵
- شکل (۵-۱۶) سیگنال ثبت شده از سنسور شماره ۱ و ۲ در حالت جعبه دنده معیوب-طول شکستگی ۱/۲- روز ششم..... ۱۱۵
- شکل (۵-۱۷) سیگنال ثبت شده از سنسور شماره ۱ و ۲ در حالت جعبه دنده معیوب-طول شکستگی ۱/۲- روز هفتم..... ۱۱۶
- شکل (۵-۱۸) سیگنال ثبت شده از سنسور شماره ۱ و ۲ در حالت جعبه دنده معیوب-طول شکستگی ۱/۲- روز هشتم..... ۱۱۶
- شکل (۵-۱۹) سیگنال ثبت شده از سنسور شماره ۱ و ۲ در حالت جعبه دنده معیوب-طول شکستگی ۳/۴- روز نهم..... ۱۱۶
- شکل (۵-۲۰) سیگنال ثبت شده از سنسور شماره ۱ و ۲ در حالت جعبه دنده معیوب-طول شکستگی ۳/۴- روز دهم..... ۱۱۷
- شکل (۵-۲۱) سیگنال ثبت شده از سنسورها در حالت جعبه دنده معیوب-طول شکستگی ۱۵/۱۶-روز یازدهم..... ۱۱۷

شکل (۵-۲۲) سیگنال ثبت شده از سنسورها در حالت جعبه دنده معیوب-طول شکستگی ۱۵/۱۶-روز

- ۱۱۷..... دوازدهم
- شکل (۶-۱) سیگنال‌های شبیه سازی شده یاتاقان(چپ) و چرخ دنده(راست)..... ۱۲۱
- شکل (۶-۲) سیگنال‌های شبیه سازی شده خروجی از سنسور..... ۱۲۱
- شکل (۶-۳) سیگنال بازیابی شده برای یاتاقان در حوزه زمان(چپ) و حوزه فرکانس(راست)..... ۱۲۲
- شکل (۶-۴) سیگنال بازیابی شده برای چرخ دنده در حوزه زمان(چپ) و حوزه فرکانس(راست)..... ۱۲۲
- شکل (۶-۵) فلوجارت جداسازی منابع مخفی ارتعاشی توسط دیدگاه فرکانسی..... ۱۲۴
- شکل (۶-۶) بازیابی سیگنال های چرخ دنده برای روز اول..... ۱۲۵
- شکل (۶-۷) بازیابی سیگنال های چرخ دنده برای روز ششم..... ۱۲۶
- شکل (۶-۸) تبدیل هیلبرت از سیگنال های بازیابی شده چرخ دنده - روز ششم..... ۱۲۷
- شکل (۶-۹) بازیابی سیگنال های چرخ دنده برای روز دهم..... ۱۲۸
- شکل (۶-۱۰) تبدیل هیلبرت از سیگنال های بازیابی شده چرخ دنده - روز دهم..... ۱۲۹
- شکل (۶-۱۱) بازیابی سیگنال های چرخ دنده برای روز دوازدهم..... ۱۳۰
- شکل (۶-۱۲) تبدیل هیلبرت از سیگنال های بازیابی شده چرخ دنده - روز دوازدهم..... ۱۳۱
- شکل (۶-۱۳) تبدیل هیلبرت از سیگنال های بازیابی شده چرخ دنده - روز دوازدهم..... ۱۳۲
- شکل (۶-۱۴) نمودار تغییرات کورتوسیس با گسترش عیب در دندانه چرخنده..... ۱۳۳
- شکل (۶-۱۵) تبدیل هیلبرت از سیگنال های بازیابی شده چرخنده در حوزه زمان - روز دهم..... ۱۳۴
- شکل (۶-۱۶) تبدیل هیلبرت از سیگنال های بازیابی شده چرخنده در حوزه زمان - روز دوازدهم..... ۱۳۴
- شکل (۶-۱۷) تبدیل هیلبرت از سیگنال های بزرگنمایی شده چرخ دنده در حوزه زمان - روز دوازدهم..... ۱۳۵
- شکل (۶-۱۸) بخش های مختلف یک بلبرینگ..... ۱۳۵
- شکل (۶-۱۹) سیگنال های ارتعاشی ترکیبی اتخاذ شده از دو عدد سنسور شتاب سنج..... ۱۳۷
- شکل (۶-۲۰) سیگنال منبع تخمینی ۱، حاصل جداسازی سیگنال ترکیبی توسط الگوریتم حوزه فرکانس..... ۱۳۷
- شکل (۶-۲۱) سیگنال منبع تخمینی ۲، حاصل جداسازی سیگنال ترکیبی توسط الگوریتم حوزه فرکانس..... ۱۳۸
- شکل (۶-۲۲) آشکارسازی سیگنال عیب با الگوریتم پوش و FFT..... ۱۳۹

BSS	Blind Source Separation
cdf	cumulative density function
EVD	Eigen Value Decomposition
FA	Factor Analysis
FastICA	Fast ICA algorithm
HOS	Higher Order Statistics
ICA	Independent Component Analysis
i. i. d	independent identical distribution
Infomax	Information maximization algorithm
JAD	Joint Approximate Diagonalization of matrices
JADE	Joint Approximate Diagonalization of Eigen matrices
LMS	Least Mean Squares
LTD	Lower Triangular Decomposition
MBD	Multichannel Blind Deconvolution
PCA	Principal Component Analysis
pdf	probability density function
rpm	rotation per minute
SBD	Single-channel Blind Deconvolution
SNR	Signal to Noise Ratio
SOBI	Second Order Blind Identification algorithm
SOS	Second Order Statistics
PP	Projection pursuit
var	Variance of a variable
CLT	Central Limit Theorem

فصل ۱: پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

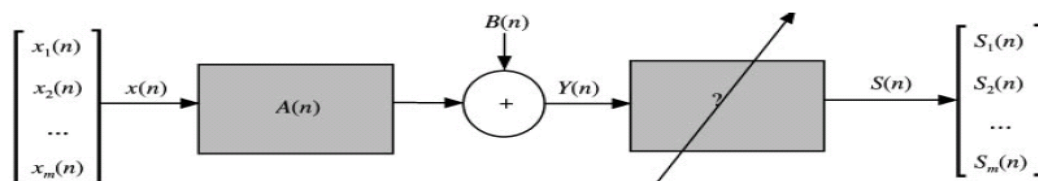
امروزه هم زمان با گسترش و پیشرفت صنایع، مقوله نگهداری و تعمیرات به تدریج برای صنعت یکی از مسائل مهم شده است. نگهداری و تعمیر، معمولاً یکی از سنگین ترین هزینه ها در واحد های صنعتی شناخته می شود. با انتخاب شیوه مناسب نگهداری و تعمیر، ممکن است این هزینه ها تا حد زیادی کاهش یابد. در سال های اخیر در کشورهای پیشرفته صنعتی، روش های نوینی در خصوص نگهداری و تعمیر ماشین آلات ایجاد شده است. با وجود این، روش های جدید نگهداری و تعمیر در صنایع داخلی چندان نهادینه نشده است. بمنظور وارد شدن به عرصه رقابت تنگاتنگ اقتصادی و افزایش بهره‌وری و کیفیت محصولات، روی آوردن به شیوه های جدید نگهداری و تعمیرات ضروری است. آنالیز ارتعاشات به عنوان ابزار اصلی شناسایی عیوب و پایش ماشین آلات، محور اصلی بحث این پژوهش خواهد بود.

جداسازی منابع مخفی^۱ (BSS) موضوع تحقیقاتی حال حاضر پردازش سیگنال می باشد که هر دوی سیگنال منابع و مشخصه های سیستم ترکیب کننده سیگنال ها را تنها از روی سیگنال های ترکیبی خروجی این سیستم بازیابی می کند. BSS حوزه تحقیقاتی بسیار جذاب و قابل توجهی برای محققین فراهم کرده است. چرا که مجموعه ای از مفاهیم در حوزه های دیگر علوم نظیر، پردازش سیگنال، شبکه های عصبی، تئوری داده ها، آمار و احتمال و غیره را جهت حل مسائل موجود در رابطه با این زمینه علمی پیرامون یکدیگر گردآوری نموده است. BSS کاربردهای وسیعی در شاخه های مختلف علوم نظیر، پردازش سیگنال های پزشکی، پردازش تصاویر، سیگنال های ارتباطاتی، مخابرات و

^۱ Blind Source Separation

همچنین کاوش‌های زمین‌شناسی یافته است و این در حالی است که کمتر در زمینه مسائل مهندسی مکانیک مورد توجه واقع شده است. کار بر روی BSS اولین بار توسط مقاله جاتن و هراالت [۲] پایه گذاری شده است. پس از انتشار مقاله آنالیز مولفه‌های مستقل [۳] در کنفرانس پردازش سیگنال، توسط کامون و همچنین معرفی الگوریتم Infomax توسط بل و سجنووسکی [۴] به جرأت می‌توان گفت حوزه مسائل و کاربردهای BSS به یکی از جذاب‌ترین حوزه‌ها برای محققین مبدل گشت. کاردوسو و سولومانک [۵] اقدام به معرفی الگوریتمی جهت جداسازی سیگنال‌های غیر گاوسی در سال ۱۹۹۳ نمودند که هم‌اکنون الگوریتم مشهور آنها با نام اختصاری JADE^۱ شناخته می‌شود. از آنجائیکه هزاران کتاب و مقاله نظیر هایکین [۶ و ۷]، کارهانن و اوجا [۸]، چیکوکی و آماری [۹] و راو [۱۰] تاکنون در زمینه مسائل BSS منتشر شده است، مقالات و گزارش‌های محدودی نیز در زمینه کاربرد BSS در حوزه‌های کاری مهندسی مکانیک انتشار یافته است. نظیر مقالات منتشر شده توسط ژله [۱۱]، جی یو و سرویر [۱۲، ۱۳، ۱۴].

مسئله BSS را به طور شماتیک می‌توان در شکل (۱-۱) نمایش داد، که در آن $x_i(n)$ منبع ناشناخته در حوزه زمان، $y_i(n)$ سیگنال ترکیبی اندازه‌گیری شده توسط سنسورها، $A(n)$ سیستم ترکیب کننده یا تبدیل متناظر با حالتی است که سیستم دارای حافظه (کانولو^۲) و یا بدون حافظه (آنی^۳) باشد.



شکل (۱-۱) نمایش بلوک دیاگرام مسائل مرتبط با جداسازی منبع مخفی [۲]

ترکیب سیگنال‌ها در سیستم ترکیب کننده به دو روش شناخته شده متفاوت، امکان پذیر است که به مدل ریاضی این دو راه ترکیب مربوط می‌گردد: مدل ترکیبی آنی و مدل ترکیبی کانولوشن. روش‌های جداسازی برای مدل اول، غالباً تحلیل مؤلفه مستقل^۴ (ICA) نامیده می‌شوند، و بر این واقعیت تأکید دارند که راه‌حل‌های موجود برای این مسئله، تحت این فرض انجام می‌پذیرد که منابع مستقل از یکدیگر هستند. از طرف دیگر، روش‌ها و تکنیک‌های جداسازی برای روش دوم عمدتاً به نام

^۱ Joint Approximate Diagonalization of Eigen-matrices

^۲ Convolve

^۳ Instantaneous

^۴ Independent Component Analysis

MBD¹ شناخته شده هستند. چراکه در حقیقت کار اصلی این الگوریتم ها دکانولو² کردن سیگنالهایی است که توسط روند ترکیبی کانولوشن با یکدیگر آمیخته شده‌اند. دو مدل ترکیبی مذکور در ارتباطی نزدیک با یکدیگر قرار دارند، از این حیث که هر دوی آنها دارای راه حل هایی تحت فرض منابع مستقل از یکدیگر بوده و تا حدی عمل جداسازی به روش کور یا مخفی در مورد آنها امکان پذیر میباشد، هستند و همچنین این دو مدل را در ارتباط نزدیک با یکدیگر می‌نامیم چرا که مدل ترکیبی دوم تحت شرایطی که در حوزه فرکانس بیان شود و یا طول فیلتر پاسخ ضربه به یک عدد کاهش یابد (در حوزه زمان)، به مدل ترکیبی آنی یا بدون حافظه تبدیل خواهد شد و در نهایت، چنانچه تعداد منابع ورودی به سیستم و همچنین تعداد سیگنال های ترکیبی خروجی از سیستم به یک عدد کاهش یابد، مدل ترکیبی دوم یعنی MBD به حالت خاصی که SBD³ نامیده می‌شود، تبدیل خواهد گشت. در این پژوهش برای تبدیل مدل کانولوشن به مدل آنی از حوزه فرکانس و تبدیل سیگنال به بازه های کوچک در هر باند فرکانسی استفاده شده است. با این کار می توان از فرضیه آنی بودن سیگنال های دریافتی استفاده نمود. در این پایان‌نامه، از لغت اختصاری BSS به عنوان نام عمومی هر دو مدل استفاده می‌شود. اگرچه نام های متعدد دیگری نیز در کتاب ها و مقالات دیگر برای این نام‌گذاری استفاده می‌شود. دو مدل ترکیبی مذکور در فوق را می‌توان با عبارات ریاضی (۱-۱) و (۲-۱) تفسیر نمود. که در آنها نویز های اندازه‌گیری شده $B(n)$ نیز در نظر گرفته شده‌اند.

مدل ترکیبی آنی:

(۱-۱)

$$\begin{aligned}
 Y(n) &= AX(n) + B(n) & n &= 1, 2, \dots, T \\
 \mathbf{A} &= [a_{ij}]_{N \times M} & & \text{سیستم ترکیبی آنی} \\
 X(n) &= \{x_j(n)\} & j &= 1, 2, \dots, M \quad \text{منابع ورودی به سیستم} \\
 Y(n) &= \{y_i(n)\} & i &= 1, 2, \dots, N \quad \text{سیگنالهای ترکیبی خروجی از سیستم} \\
 B(n) &= \{b_i(n)\} & & \text{نویزهای اضافه شده که معمولاً گاوسین در نظر گرفته می‌شوند.}
 \end{aligned}$$

¹ Multi Channel Deconvolution² Deconvolve³ Single Channel Blind Deconvolution

مدل ترکیبی MBD

(۲-۱)

$$Y_i(n) = \sum_{j=1}^m \sum_{p=0}^{P-1} a_{ij}(p)x_j(n-p) + B(n), \dots, i = 1, 2, \dots, n \quad n = 1, 2, \dots, T$$

$a_{ij}(p)$ بیانگر ضرایب فیلتر ترکیب و p امین مولفه از پاسخ ضربه P نقطه‌ای از Λ امین منبع به Λ امین سنسور است. $B(n)$ نویز از نوع گاوسین و سیگنال‌های منابع از نوع غیر گاوسی هستند.

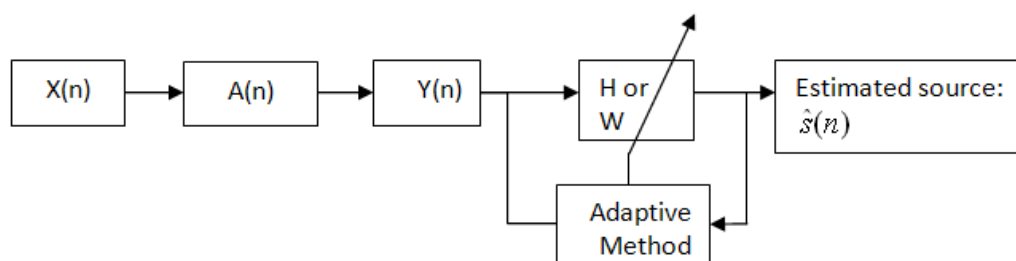
در حالت کلی راه حل قطعی جهت بازیابی سیگنال‌های ورودی منابع مجهول و همچنین سیستم ترکیب کننده یا مبدل ناشناخته، تنها از روی سیگنال‌های اندازه‌گیری شده دریافتی توسط سنسورها، وجود ندارد. با این وجود، امری که این قضیه را تا حدی امکان پذیر می‌سازد، پذیرفتن شرایطی است که در آن بازیابی منابع همراه با ضرایب مقیاس^۱ نامعلوم صورت می‌پذیرد و همچنین جایگشت منابع در روند بازیابی در مقایسه با منابع ورودی اصلی، انجام می‌پذیرد و نیز اعمال فرضیاتی بر سیگنال منابع ورودی، نظیر اینکه، آنها می‌بایست مستقل از یکدیگر و غیر گاوسی باشند. این مسئله در رابطه (۳-۱) به صورت ریاضی مدل سازی شده که در آن P ماتریس جایگشت و Λ ماتریس قطری ضریب مقیاس می‌باشد. از آنجائیکه تنها شکل موج منابع مد نظر هستند، ابهامات ضریب مقیاس مجهول و جایگشت سیگنال منابع در روند بازیابی، امری ناچیز و پیش پا افتاده در اکثر کاربردهای عملی میباشد. آنچه که در روند بازیابی دارای اهمیت می‌باشد این است که اثرات فیلترینگ تا حد امکان کم باشد به گونه ای که تأثیر منفی در استفاده کاربردی از سیگنال منابع در زمینه های مختلف نداشته باشد.

$$Y(n) = AX(n) = (A\Lambda^{-1}P^{-1})(P\Lambda)X(n) \quad (۳-۱)$$

روابط (۱-۱) یا (۲-۱) را نمی‌توان به صورت قطعی در حالیکه تنها Y برای ما معلوم است، حل نمود. بنابراین پس از این، روش BSS را می‌بایست به یک الگوریتم تعلیمی^۲ توسعه داد که شامل یک تابع هزینه یا هدف و همچنین روش تعلیمی برای بهینه یا کمینه کردن این تابع هدف باشد که توسط این روند بهینه سازی، همگرایی به سیستم ترکیبی H یا سیستم معکوس متناظر با آن W ، امکان پذیر گردد. روند تشریح شده فوق را به صورت شماتیک می‌توان در شکل (۲-۱) مشاهده نمود. W حاصل شده، سیستم معکوس معادل نامیده شده است، چرا که در رابطه با آن ابهاماتی وجود

^۱ Scale Factor^۲ Learning Algorithm

دارد، اما با این حال در اینجا جهت سهولت، به آن سیستم معکوس اطلاق می‌گردد. همچنین، به دلیل آنکه W سیگنال ترکیبی اندازه‌گیری شده، Y را به سیگنال‌های منابع تشکیل دهنده آن، تجزیه می‌کند، به آن سیستم تجزیه کننده یا مجزا کننده گفته می‌شود. از بحث فوق این نتیجه به وضوح مشخص می‌گردد که سیگنال منابع بازیابی شده، خروجی سیستم معکوس خواهند بود. از رابطه (۱-۳) نتایج استحصال شده BSS را می‌توان به صورت رابطه (۱-۴) جهت سیستم معکوس بدست آمده و رابطه (۱-۵) جهت منابع بازیابی شده، بیان نمود.



شکل (۱-۲) شمایی از الگوریتم BSS

$$W = (PA)A^{-1} \quad (۴-۱)$$

$$\hat{s}(n) = WY(n) = (PA)X(n) \quad (۵-۱)$$

فرض مستقل بودن منابع، پایه و اساس تئوری BSS می‌باشد. بر این اساس، الگوریتم‌های متعددی با استفاده از توابع هزینه متفاوت، جهت جداسازی منابع مستقل از یکدیگر توسعه داده شده‌اند. در اغلب موارد، شرط استقلال با دکورلیشن^۱ مرتبه دوم یا بالاتر سیگنال ترکیبی اندازه‌گیری شده، برآورده می‌گردد. توابع هدف دیگری وجود دارند که بر اساس تئوری حد مرکزی (CLT) در احتمالات و آمار توسعه یافته‌اند که با دکورلیشن مرتبه بالاتر مطابقت دارد. مسائل مکانیکی که مدل BSS در آن زمینه پتانسیل و قابلیت کاربرد دارد، جاییست که در آن معمولاً نیروی اعمال شده یا جابجایی، مورد نظر بوده، در حالی که در این مسائل نیرو و جابجایی مجهول هستند و امکان اندازه‌گیری آنها وجود ندارد و یا کار بسیار مشکلی است. پدیده ضربه پیستون در موتور احتراق داخلی، یا شکل موج نیروی وارد شده به یک سازه مکانیکی نظیر یک جعبه دنده مثالی از این موارد است. این پروژه تحقیقاتی

^۱ Decorrelation