بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل

آنالیز و شناسایی سیستمهای غیرخطی با استفاده از توابع متعامد

استاد راهنما:

دکتر محمود سموات

دکتر محمد علی ولی

مؤلف :

مجتبی قربانی

اردیبهشت ماه ۱۳۸۹

این پایان نامه به عنوان یکی ازشرایط احرازدرجه کارشناسی ارشدبه

گروه مهندسی برق

دانشکده فنی ومهندسی

دانشگاه شهیدباهنرکرمان

تسلیم شده است وهیچگونه مدرکی به عنوان فراغت ازتحصیل دوره مزبورشناخته نمی شود.

دانشجو: مجتبی قربانی

استادراهنما: دکترمحمودسموات–دکترمحمدعلی ولی

استادمشاور:

داور۱: دکترسعیدرضاصیدنژاد

داور۲: دکترسیدمحمدعلی محمدی

معاونت پژوهشی وتحصیلات تکمیلی دانشکده: دکترپورابراهیم

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم، آنانکه مظهر عشق و محبت اند و با سوختن شمع وجودشان پرتو افشان بزم تکامل اندیشه هستند آنانکه مویشان سپیدی گرفت تا رویم سپید بماند آنانکه فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی سیمایشان سرمایه های جاودانی زندگی ام هستند و راستی قامتم در شکستگی قامتشان تجلی یافت

تشکر وقدردانی:

ای یکتای علوم وای آفریننده اسرارورموز، توراحمدوسپاس می گویم که توفیق کسب علم ومعرفت رابه من عطافرمودی ازتومی خواهم راهنمایم باشی تاازاندک علم خویش بهره ای شایسته داشته باشم .

سپاس پدرومادرم، دوچراغ فروزانی که درفروغ پرمهرشان درس ایمان وامیداموخته ام وهمواره برایم مظهرپاکی، فداکاری وایثارند.

سپاس همه معلمان صدیق وراهنمایان پاک بشرراکه ظلمت جهل وکوره راه شقاوت به شاهراه علم وحقیقتش رهنمون گشتند.

سپاس همه انان راکه خوشه چین خرمن معرفتشان بوده ام واموختن رابه گونه ای مدیون فضل وکرم آنانم .

سپاس ویژه اساتیدراهنمایم جناب اقای دکترمحمود سموات وجناب اقای دکترمحمدعلی ولی که الگوی فروتنی ومهربانی ونیک سیرتی توام بادانش واگاهی هستندوهرگزمراازخوان بی دریغ اندوخته های خویش محروم نگذاشته وربین محبتهای پدرانه شان بوده وخواهم بود.

چکیده

ازآنجایی که اغلب سیستم های فیزیکی غیرخطی اندبنابراین شناسایی وآنالیزسیستم های غیرخطی ضرورت پیدامی کند. دربحث آنالیز سیستم های غیرخطی که سیستم براساس ورودی-خروجی باشدورودی سیستم مشخص است و خروجی در یک بازه زمانی با استفاده از توابع متعامد باید تقریب زده شودکه آنالیزاین نوع خاص ازسیستم های غیرخطی تاکنون انجام نشده بودکه مابااستفاده ازماتریس حاصلضرب موجک، آنالیزاین نوع ازسیستم های غیرخطی رابادقت بالایی انجام داده ایم. همچنین آنالیزسیستم های غیرخطی که ورودی قسمت غیرخطی راتشکیل می دهد(Hammerstein systems) انجام داده ایم. در بحث شناسایی سیستم های غیرخطی که سیستم براساس ورودی-خروجی است فرض براین است که ورودی وخروجی داده شده وبایدپارامترهای سیستم راتخمین بزنیم همچنین شناسایی سیستم های غیرخطیHammerstein راانجام داده ایم.

هدف ما در اینجا استفاده از موجک ها به عنوان یک ابزار مفید برای تخمین وآنالیز سیستم های غیرخطی به جای چندجمله ای های متعامد است.

کلمات کلیدی: سیستم های غیرخطی،موجک ها،شناسایی سیستم،آنالیزسیستم.

فهرست مطالب

عنوان .... صفحه

فصل اول : مقدمه، تاریخچه و اهداف

فصل دوم : مقدمات ریاضی

فصل سوم : آنالیز سیستمهای دارای خروجی غیرخطی

فصل ششم : شناسایی سیستمهای دارای ورودی غیرخطی

فصل اول

مقدمه، تاریخچه و اهداف

۱-۱) مقدمه

همواره درحل مسائل بزرگ، تجزیه مسأله به قسمت های کوچکتر امری مطلوب بوده وتجزیه وتحلیل سیگنال ها و سیستم ها نیز از این امر مستثنی نیست. استفاده ازتوابع متعامد[1] از سال های بسیار دور مورد توجه مهندسین قرارگرفته است به عنوان مثال چندجمله ای های لژندر[2] دراواخرقرن۱۸ میلادی و بوسیله لژندر ارائه گردیده است. این توابع کاربردهای فراوانی درعلوم مهندسی وپایه ازقبیل مهندسی مخابرات، علوم ومهندسی هسته ای، حفاظت دیجیتال خطوط انتقال و...دارنددرواقع هدف از استفاده توابع متعامد، ساده کردن مسئله به جزءهای کوچکتراست. بنابراین، این جزءهای کوچک باید شکل سادهای داشته باشند تا نهایتاً حل آنها ساده باشد. نکته مهم دیگر این است که ترکیب این توابع پایه باید بتواند سیگنال مورد نظر را بخوبی پوشش دهد. مثلاً استفاده از توابع گسسته عمود بر هم مثل بلاك پالس[3]، سیگنال را تکه تکه تقریب میزند یا استفاده از سری فوریه[4] برای تقریب سیگنالهایی که دارای شکستگی یا ناپیوستگی است، بخاطر متناوب و پیوسته بودن پایه هایش، فقط میتواند اختلاف انرژی سیگنال اصلی و سیگنال تقریب را به صفر برساند . بنابراین با توجه به شکل سیگنال اصلی و میزان دقت مورد نیاز ونوع کاربرد میتوان ازتوابع متعامد متفاوتی استفاده کرد.

توابع متعامددرحالت کلی به دودسته تقسیم می شوند:

- توابع متعامد پیوسته
- توابع متعامد گسسته

[1] Orthogonal Function
[2] Legendre
[3] Block-Pulse
[4] Fourier series

گاهی هم توابع متعامد باتوجه به ساختارشان به انواع زیرطبقه بندی می شوند:

- چندجمله‌ای‌های متعامد مثل لژندر هرمیت[1]

- توابع سینوسی – کسینوسی مثل سری فوریه

- توابع متعامد ثابت قطعه‌ای مثل بلاک پالس و والش[2]

تنوع توابع متعامد بسیار زیاد است، بطوری که می‌توان ثابت کرد که هر دسته از توابع مستقل را می‌توان بر هم عمود کرد. شاید بتوان گفت شکل پاسخ مورد انتظار، اساسی ترین موضوع در انتخاب تابع عمود بر هم است. ازاین رو چندجمله‌ای‌های متعامد گوناگونی در قرون ۱۸ و ۱۹ میلادی ارائه شده‌اند که از این دست می‌توان به چند جمله‌ای هرمیت که در قرن ۱۹ توسط چارلز هرمیت ارائه شده است اشاره کرد. ادموندلاگر[3] تلاش کرد که یک چندجمله‌ای توانی واگرا را به یک سری توابع پیوسته همگرا بشکند که در این راه چندجمله‌ای متعامدی که امروزه با نام لاگر مشهور است، معرفی گردید.

در مسائل مهندسی مجموعه‌ای از توابع حقیقی وجود دارند که به صورت توابع پیوسته تکه ای می‌باشند. خروجی رله‌ها، سیگنال‌های دیجیتال، مبدلهای آنالوگ به دیجیتال و از این قبیل دستگاهها، جزئی از این مجموعه می‌باشند. به منظور تحلیل این توابع، نوع دیگری از توابع متعامد با نام توابع متعامد ثابت قطعه‌ای تعریف شده است این توابع در هر زیردورهٔ زمانی دارای مقدار ثابتی بوده که به همین علت این نام بر این نوع از توابع گذارده شده است. اولین تابع از این نوع در سال ۱۹۱۰ توسط هار[4] ارائه گردید که مجموعه‌ای از توابع پریودیک[5] و کامل می‌باشد و

[1] Hermite
[2] Walsh
[3] Edmond Laguerre
[4] Haar
[5] Periodic

امروزه با نام هار معروف است. مجموعه دیگری از این کلاس در سال ۱۹۲۲ توسط رادماخر[1] ارائه گردید که البته این توابع متعامد از توابع متعامد کامل تشکیل نشده است. بنابراین والش در سال ۱۹۲۳ مجموعه کاملی از توابع متعامد را که توسط توابع رادماخر تولید شدند و امروزه با نام توابع والش معروف هستند را ارائه کرد. نوع دیگری از توابع متعامد نیز وجود دارند که امروزه با نام توابع بلاک پالسی معروف می‌باشند این توابع که استفاده از آنها از سایر توابع متعامد ثابت قطعه‌ای ساده‌تر می‌باشد در حل بسیاری از مسائل، مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

در سال ۱۹۷۳ کارینگتون[2] کار بسیار با ارزشی کرد و نشان داد که معادلات انتگرالی را می‌توان با یک تقریب حداقل مربعات، بصورت معادلات جبری خطی درآورد. وی یک مجموعه از توابع والش را در نظر گرفت و از آنها بصورت تحلیلی انتگرال‌گیری کرد و نتایج را بطور تقریبی بصورت ترم‌هایی از توابع والش بسط داد. او اپراتور انتگرال را برای اولین بار معرفی کرد.

توابع متعامد از جمله قویترین ابزار آنالیز[3] سیستمها به حساب می‌آیند و توانایی توصیف دسته وسیعی از سیستمها اعم از خطی ، غیر خطی ، متغیر و نامتغیر با زمان ، سیستمهای سینگولار[4] ، سیستمهای دارای تاخیر در ورودی و خروجی همچنین توانایی توصیف معادلات مشتقی- انتگرالی و بسیاری از سیستمهای دیگر را دارند. سادگی استفاده از توابع عمود برهم ، تنوع شکل و پایه های آن همچنین امکان استفاده از این ابزار ریاضی برای حل مسائل مختلف توجه تعداد زیادی از محققان در علوم مختلف بخصوص مهندسی برق و شیمی را به خود جلب کرده است.

[1] Radmacher
[2] Carrington
[3] Analysis
[4] Singular

برخی از مزایای توابع متعامد:

– تبـدیل معـادلات دیفرانسـیلی(تفاضـلی)بـه معـالات جبـری بـا اسـتفاده از توابـع متعامـد پیوسته(گسسته).

– قابل اجرا بر روی کامپیوتر می‌باشند.

– در مقایسه با بقیه الگوریتمها، دارای سرعت نسبتاً بالایی هستند.

برخی کاربردهای توابع متعامد هم عبارتند از:

– حل معادلات دیفرانسیل–دیفرانس (تفاضلی).

– آنالیز معادلات حالت متغیر با زمان – غیر متغیر با زمان.

– آنالیز حساسیت مسیر سیستمهای خطی.

– حل مسئله کنترل بهینه سیستمهای خطی متغیر با زمان و غیر متغیر با زمان.

– شناسایی[۱] پارامترهای سیستم.

– آنالیز سیستمهای سینگولار.

– برخی کاربردهای خاص در مورد سیستمهای غیر خطی(توابع متعامد پیوسته)

ایده اساسی استفاده از توابع متعامد به قرار زیر است:

از توابع متعامد می‌توان به منظور پایه‌هایی برای بسط فضای تابعی پیوسته استفاده نمود یعنی:

$$f(t) = f_0\varphi_0(t) + f_1\varphi_1(t) + \dots + f_m\varphi_m(t) + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} f_n\varphi_n(t)$$

[1] Identification

دراین پایان نامه ازتوابع عمود برهم، برای آنالیزوشناسایی سیستم های غیرخطی استفاده کرده ایم.

۱-۲) تاریخچه آنالیز و شناسایی سیستم های غیرخطی

اگرچه اغلب درفرضیات تئوری ها،یک سیستم فیزیکی رابصورت خطی درنظرمی گیریم ولی درواقعیت چنین سیستم هایی وجودندارندواغلب سیستم های فیزیکی بصورت غیرخطی میباشندبنابراین شناسایی وآنالیزاین سیستم هاضرورت دارد. به همین خاطر دانشمندان تحقیقات زیادی در رابطه با شناسایی و آنالیز این سیستمها انجام داده اند و برای انجام آن به ابزار قدرتمندی برای تخمین سیستمهای غیرخطی نیاز داشتند که از توابع متعامد گوناگونی استفاده کرده اند.برای مثال توابع والش[1-3]آنالیزوشناسایی سیستمهای غیرخطی و[4] شناسایی سیستم های دوخطی، توابع بلاک پالس[5-7]آنالیزوشناسایی سیستمهای غیرخطی و[8]شناسایی سیستم های دوخطی، چند جمله ای های لژندر[1] [9-11] شناسایی وآنالیز سیستم های خطی و غیرخطی و [12]شناسایی وآنالیزسیستمهای تاخیری، چند جمله ای های چبیشف[2] [13-16] آنالیز و شناسایی سیستم های غیرخطی،چندجمله ای لژر[3] [17-20] شناسایی وآنالیز سیستم های خطی وغیرخطی،سری تیلر[4][21] شناسایی وآنالیزسیستمهای تاخیری و[22-24] شناسایی وآنالیز سیستمهای غیرخطی، سری فوریه[25-27]شناسایی وآنالیزسیستمهای غیرخطی و[28] شناسایی سیستمهای تاخیری و[29-30] به ترتیب آنالیزوشناسایی سیستمهای مقیاسی وتغییر پذیربا زمان، چندجمله ای ژاکوب[5] [32]شناسایی وآنالیزسیستمهای تاخیریو....انجام داده اند.

---

[1] Legendre polynomials
[2] Chebyshev polynomials
[3] Laguerre polynomials
[4] Taylor series
[5] Jacob polynomials

تقریباً در استفاده از همه این توابع متعامد روش کار یکسان بوده است به این صورت که با بکار بردن این توابع ، معادلات دیفرانسیل غیرخطی بصورت جبری در می آیند و سیستم آنالیز یا شناسایی می شود. دقت بیشتر در این روش، منوط به دقت بیشتر توابع متعامد است.

۱-۳) تاریخچه تئوری موجک

ایده ی نمایش یک تابع برحسب مجموعه ی کاملی از توابع، اولین بار توسط ژوزف فوریه، ریاضیدان و فیزیکدان بین سال های ۱۸۰۲-۱۸۰۶ طی رساله ای در آکادمی علوم راجع به انتشار حرارت، برای نمایش توابع بکار گرفته شد. در واقع برای آنکه یک تابع $f(x)$ به شیوه ای ساده وفشرده نمایش داده شودفوریه اساساً ثابت کردکه می توان ازمحورهایی استفاده کردکه به کمک مجموعه ای نامتناهی ازتوابع سینوس وارساخته می شوند.به عبارت دیگر فوریه نشان دادکه یک تابع $f(x)$ رامیتوان بوسیله ی حاصل جمع بی نهایت تابع سینوسی وکسینوسی به شکل $\sin(ax)$ و $\cos(ax)$ نمایش داد.پایه های فوریه بصورت ابزارهایی اساسی،با کاربرد های فوق العاده متواتردرعلوم درآمده اندزیرابرای نمایش انواع متعددی ازتوابع ودرنتیجه کمیت های فیزیکی فراوان به کارمی روند. سالهامحققان بااستفاده ازآنالیزفوریه اقدام به تجزیه وتحلیل داده های نامنظم ومتناوب می نموده اندباگذشت زمان ضعف پایه های فوریه نمایان شدمثلاً دانشمندان پی بردندپایه های فوریه و نمایش توابع سینوس وار در مورد سیگنال های پیچیده نظیر تصاویر،نه تنها ایده آل نیستند بلکه از شرایط مطلوب دوراند، به عنوان مثال به شکل کارامدی قادر به نمایش ساختارهای گذرانظیر مرزهای موجود در تصاویر نیستند. همچنین آنهامتوجه شدندتبدیل فوریه فقط برای توابع پایا مورد استفاده قرارمی گیرد وبرای توابع غیرپایاکارآمدنیست.(البته در سال ۱۹۴۶ بااستفاده ازتوابع پنجره ای،که منجر به تبدیل فوریه ی پنجره ای شداین مشکل حل شد)

در سال ۱۹۰۹ هار اولین کسی بود که به موجک ها اشاره کرد. در سال های ۱۹۳۰ ریاضیدانان به قصد تحلیل ساختارهای تکین ، به فکر اصلاح پایه های فوریه افتادند و بعد از آن در سال ۱۹۷۰ یک ژئوفیزیکدان فرانسوی به نام ژان مورله[۱] درتحلیل یک سیگنال بافرکانس بالا بامشکل مواجه شدو متوجه شد که پایه های فوریه بهترین ابزار ممکن در اکتشافات زیر زمین نیستند،وی به دنبال روش جدیدی برای آنالیزچنین سیستم هایی برآمد این موضوع در آزمایشگاهی متعلق به الف آکیلن[۲] منجر به یکی از اکتشافات تبدیل به موجک ها گردید.

در سال ۱۹۸۰ میر[۳] ریاضیدان فرانسوی، نخستین پایه های موجکی متعامد را کشف کرد(تعامد نوعی از ویژگی ها را بیان می کند که موجب تسهیلات فراوانی در استدلال و محاسبه می شود). در سال ۱۹۸۲ مورله مفهوم موجک و تبدیل موجک را به عنوان یک ابزار برای آنالیز سیگنال زمین لزره وارد کرد موفقیت عددی کارمورله باعث شدکه گراسمن[۴] فیزیکدان نظری فرانسه نیز فرمول وارونی را برای تبدیل موجک بدست آوردوبه مطالعه جزئیات ریاضی تبدیل موجک پیوسته بپردازد. مطالعه ریاضی حالت گسسته با معرفی مفهوم قاب[۵] به وسیله دابچیز[۶] ، میر و گراسمن آغاز شد در این فاصله پایه های اورتونرمال[۷] موجک ها کشف شد.

در سال ۱۹۸۶ میر و مالات[۸] از پایه های موجک متعامد توانستندبه شکل سیستماتیک آنالیزچندریزه سازی[۹] را بسازند و مالات تجزیه موجک ها و الگوریتم های بازسازی را با بکار بردن آنالیز چند ریزه سازی بوجود آورد.

---

[1] John morley
[2] A.Akilin
[3] Meyer
[4] Grassman
[5] Frame
[6] Daubechies
[7] Orthonormal Basis
[8] Mallat
[9] Multi Resolution Analysis

پایه های دیگری که توسط لمایر و باتل[1] در سال ۱۹۸۷ مطرح شد از لحاظ عددی مفیدتر و دارای تمرکز بیشتر بودند همچنین در سال ۱۹۹۰ مورنزی[2] همراه با آنتوان[3] موجک ها را به دو بعد و سپس به فضاهایی با ابعاد دیگر گسترش دادند و بدین ترتیب بود که آنالیز موجکی پایه گذاری گردید.

آنالیز موجک (Wavelet Analysis) یکی از دستاوردهای نسبتاً جدید و هیجان انگیز ریاضیات محض که مبتنی بر چندین دهه پژوهش در آنالیز همساز است، امروزه کاربردهای مهمی در بسیاری از رشته های علوم و مهندسی یافته و امکانات جدیدی برای درک جنبه های ریاضی آن و نیز افزایش کاربردهایش فراهم شده است.در آنالیز موجک هم مانند آنالیز فوریه با بسط تابع ها سروکار داریم ولی این بسط برحسب «موجک ها» انجام می شود.

موجک، تابع مشخص مفروضی با میانگین صفر است و بسط برحسب انتقالها و اتساعهای این تابع انجام می گیرد. بر خلاف چند جمله ای های مثلثاتی، موجک ها در فضا بصورت موضعی بررسی می شوند و به این ترتیب ارتباط نزدیکتری بین بعضی توابع و ضرائب آن ها امکان پذیر می شود و پایداری عددی بیشتری در باز سازی و محاسبات فراهم می گردد. هر کاربردی را که مبتنی بر تبدیل سریع فوریه است می توان با استفاده از موجک ها فومول بندی کرد و اطلاعات فضایی (یا زمانی) موضعی بیشتری بدست آورد. بطور کلی، این موضوع بر پردازش سیگنال و تصویر و الگوریتم های عددی سریع برای محاسبه ی عملگرهای انتگرالی اثر می گذارد.

---

[1] Lemaire and Battle
[2] Morency
[3] Antuan

آنالیز موجک حاصل ۵۰ سال کار ریاضی (نظریه ی لیتلوود – پیلی و کالدرون – زیگموند[1]) است که طی آن، با توجه به مشکلاتی که در پاسخ دادن به ساده ترین پرسش های مربوط به تبدیل فوریه وجود داشت، جانشینهای انعطاف پذیر ساده تری از طریق آنالیز همساز ارائه شدند. مستقل از این نظریه که درون ریاضیات محض جای دارد، صورتهای مختلفی از این رهیافت چند مقیاسی(multi scale)را در طی دهه ی گذشته در پردازش تصویر، آکوستیک، کدگذاری (به شکل فیلترهای آینه ای متعامد و الگوریتمهای هرمی) و استخراج نفت دیده ایم.

کاربردها:

آنالیز موجک همراه با تبدیل سریع فوریه در تحلیل سیگنالهای گذرایی که سریعاً تغییر می کنند، صدا و سیگنالهای صوتی، جریان های الکتریکی در مغز، صداهای زیر آبی ضربه ای،داده های طیف نماییNMR[2]و در کنترل نیروگاههای برق از طریق صفحه ی نمایش کامپیوتر بکار رفته است. همچنین به عنوان ابزاری علمی، برای روشن ساختن ساختارهای پیچیده ای که در تلاطم ظاهر می شوند، جریان های جوی و در بررسی ساختارهای ستاره ای از آن استفاده شده است. این آنالیز به عنوان یک ابزار عددی می تواند مانند تبدیل سریع فوریه تا حد زیادی از پیچیدگی محاسبات بزرگ مقیاس بکاهد. راحتی و سادگی این آنالیز باعث ساختن تراشه هایی شده است که قادر به کدگذاری به نحوی بسیارکارا و فشرده سازی سیگنالها و تصاویرند.

1 Zigmond-pily and Caldron-litload

2 Nuclear Magnetic resonance