

سیگنال‌ها و سیستم‌ها

حمید حسن‌پور

محمد مهدی علیان‌نژادی

سرشناسه	: حسن پور، حمید، ۱۳۴۸ - Hassanpour, Hamid
عنوان و نام پدیدآور	: سیگنال‌ها و سیستم‌ها/ حمید حسن پور، محمدمهدی علیان‌نژادی؛ ویراستار علمی: حیدر طوسی‌ان‌اندیز؛ ویراستار ادبی: صدیقه غلامیان.
مشخصات نشر	: شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۴۶۶ ص.
شابک	: 978-964-7637-87-9 *
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: پردازش سیگنال‌ها
موضوع	: Signal processing
موضوع	: تجزیه و تحلیل سیستم‌ها
موضوع	: System analysis
شناسه افزوده	: Mohammad M. AlyanNezhadi - ۱۳۶۹، محمدمهدی، علیان‌نژادی
رده بندی کنگره	: TK5۱.۲/۹
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۶۹۹۲

عنوان کتاب: سیگنال‌ها و سیستم‌ها

تدوین و گردآوری: حمید حسن پور، محمدمهدی علیان‌نژادی

ویراستار علمی: حیدر طوسی‌ان‌اندیز

ویراستار ادبی: صدیقه غلامیان

ناشر: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود

چاپ اول: ۱۳۹۸

تیراژ: ۵۰۰ جلد

قیمت: ۷۳۰۰۰ تومان

چاپ و صحافی: چاپ دیجیتالی توس

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۷۶۳۷-۸۷-۹

آدرس: شاهرود، بلوار دانشگاه، دانشگاه صنعتی شاهرود، صندوق پستی ۳۶۱۵۵-۳۱۶. فروش آنلاین کتاب: shahroodut.ac.ir/fa/book تلفن: ۰۲۳-۳۲۳۰۰۳۳۱ حق چاپ برای ناشر محفوظ است و هر گونه استفاده غیر مجاز از این اثر ممنوع است.

پیشگفتار

روش‌های تحلیل و پردازش سیگنال‌ها و سیستم‌ها در بیشتر علوم مهندسی کاربردی است. لزوم استفاده و کاربرد این روش‌ها در رشته‌های مهندسی برق و کامپیوتر بر همگان واضح است. بخش عظیمی از مطالعات در این رشته‌ها را می‌توان زیرشاخه پردازش سیگنال دانست. پرگازش سیگنال‌های گفتار و صوت، پردازش سیگنال‌های مغزی و پردازش تصویر نمونه‌هایی از کاربردهای پردازش سیگنال است. از اینرو دانستن اصول سیگنال‌ها و سیستم‌ها برای دانشجویان این دو رشته لازم است. کتاب حاضر می‌تواند به عنوان منبع درس "سیگنال‌ها و سیستم‌ها" در دوره کارشناسی مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین این کتاب برای دانشجویان سال اول کارشناسی ارشد که اطلاعات کمی در خصوص پردازش سیگنال دارند می‌تواند مفید باشد. پردازش سیگنال‌ها و سیستم‌ها در علوم مهندسی مختلف نظیر مهندسی مکانیک، معدن و شیمی نیز کاربردی است. از اینرو مطالعه کتاب ممکن است برای طیف وسیعی از پژوهشگران کاربردی باشد.

در این کتاب تلاش شده است مفاهیم پایه پردازش سیگنال با کمک مثال‌های متنوع آموزش داده شود. نیمی از مثال‌های این کتاب با کمک روش‌های ریاضیاتی حل شده است. برای حل سایر مثال‌های کتاب از نرم‌افزار Matlab کمک گرفته شده است. کتاب حاضر مشتمل بر هفت فصل اصلی است. در فصل اول مفاهیم اولیه پردازش سیگنال آورده شده است. در این فصل با انواع سیگنال‌ها و سیگنال‌های پایه آشنا خواهید شد. همچنین انواع مختلف سیستم‌ها بررسی شده است.

یکی از انواع سیستم‌ها، سیستم‌های خطی و غیرخطی است. همچنین دسته‌بندی دیگری سیستم‌ها را به دو دسته تغییرپذیر و تغییرناپذیر با زمان تقسیم می‌کند. سیستم‌های خطی و تغییرناپذیر (LTI) با زمان دسته مهمی از سیستم‌ها است که تا حد زیادی می‌توان بسیاری از سیستم‌های واقعی را با آن‌ها مدل کرد. تمرکز اصلی این کتاب بر روی همین سیستم‌ها است.

فصل دوم کتاب به تحلیل سیستم‌های LTI در حوزه زمان اختصاص داده شده است. در این فصل با عملگر کانولوشن آشنا خواهید شد. همچنین خواهید دید که برای توصیف کامل یک سیستم LTI کافی است پاسخ سیستم به سیگنال ضربه مشخص باشد. در

فصل دوم با محاسبه مقادیر ویژه برای توابع ویژه سیستم‌های LTI، زمینه سازی لازم برای فصل‌های سوم تا ششم شده است.

فصل سوم به بررسی سیستم‌های LTI زمان پیوسته به کمک تبدیل لاپلاس می‌پردازد. در این فصل تابع سیستم در حوزه لاپلاس به عنوان توصیف کننده کاملی از سیستم‌های LTI معرفی شده است. به کمک همین تابع، سیستم‌های LTI توصیف شده با معادلات دیفرانسیلی نیز حل خواهد شد.

در فصل چهارم، تبدیلی مشابه تبدیل لاپلاس موسوم به تبدیل Z معرفی شده است. این تبدیل مخصوص سیستم‌های LTI زمان گسسته طراحی شده است. در نهایت، در این فصل تابع سیستم در حوزه Z به عنوان توصیف کننده کاملی از سیستم‌های LTI معرفی شده است. به کمک همین تابع، سیستم‌های LTI توصیف شده با معادلات تفاضلی نیز حل خواهد شد.

فصل پنجم به تحلیل سیستم‌های زمان پیوسته در حوزه فرکانس می‌پردازد. تبدیل فرکانسی زمان پیوسته برای سیگنال‌های زمان پیوسته را می‌توان حالت خاصی از تحلیل لاپلاس دانست. فصل ششم نیز به تحلیل سیستم‌های زمان گسسته در حوزه فرکانس می‌پردازد. تبدیل فرکانسی زمان گسسته برای سیگنال‌های زمان گسسته حالت خاصی از تبدیل Z است. در این دو فصل، پاسخ فرکانس به عنوان توصیف کننده کامل سیستم‌های LTI معرفی شده است.

از آنجایی که کامپیوترها توانایی پردازش سیگنال‌های پیوسته را ندارند بنابراین ناچاریم تا برای پردازش‌های کامپیوتری سیگنال‌ها را از حالت زمان پیوسته به حالت زمان گسسته ببریم. همچنین پردازش سیگنال‌ها با عرض نامحدود نیز امری دشوار برای کامپیوترها است. از اینرو معمولاً بخشی از سیگنال‌ها فقط اندازه‌گیری می‌شود. از اینرو در فصل ششم تبدیل فوریه گسسته برای سیگنال‌های با عرض محدود و زمان گسسته معرفی شده است. این تبدیل یکی از معروف‌ترین تبدیلات ریاضی است که اکثر پژوهشگران دنیا در علوم مهندسی مختلف با آن آشنایی دارند.

در فصل هفتم، مقدمه‌ای کوتاه بر فیلترها و نحوه طراحی آن‌ها آمده است. در این فصل فیلترهای حوزه زمان و حوزه فرکانس معرفی شده است. در فیلترهای حوزه فرکانس،

یک مدل فیلتر پایین‌گذر معرفی گردیده است که با کمک آن می‌توان سایر فیلترهای حوزه فرکانس را طراحی نمود. در بخش پایانی کتاب، جداولی از قواعد ریاضی مهم و نیز قواعد مهم این کتاب آورده شده است. این جداول می‌تواند به دانشجویان در یادآوری مطالب مهم کمک نماید. در طول زمان نگارش کتاب، ما تمام تلاش خود را داشتیم تا کتابی بدون اشکال تدوین نماییم. قطعاً این کتاب بدون اشکال نیست. از همه اساتید، پژوهشگران و دانشجویان خواهش می‌کنیم تا با راهنمایی‌های خود، بیان پیشنهادات، نقایص و اشتباهات این کتاب به ما در بهبود دادن آن یاری رسانند.

حمید حسن‌پور

محمد مهدی علیان‌نژادی

بهار ۱۳۹۸

فهرست مطالب

۱ - مفاهیم اولیه در پردازش سیگنال.....	۱
۱-۱ - مقدمه.....	۱
۱-۱-۱ - تعریف سیگنال.....	۲
۱-۱-۲ - تعریف سیستم.....	۲
۱-۲ - سیگنال و انواع آن‌ها.....	۳
۱-۲-۱ - سیگنال‌های مین و نامین.....	۳
۱-۲-۲ - سیگنال‌های زمان پیوسته و زمان گسسته.....	۴
۱-۲-۳ - سیگنال‌های انرژی و قوه.....	۶
۱-۲-۴ - سیگنال‌های حقیقی و مختلط.....	۷
۱-۲-۵ - سیگنال‌های زوج و فرد.....	۸
۱-۲-۶ - سیگنال‌های متناوب و نامتناوب.....	۱۲
۱-۳ - انرژی و توان سیگنال.....	۱۶
۱-۴ - سیگنال‌های پایه.....	۱۸
۱-۴-۱ - تابع و دنباله پله واحد.....	۱۹
۱-۴-۲ - تابع و دنباله شیب.....	۲۰
۱-۴-۳ - دنباله و تابع ضربه واحد.....	۲۰
۱-۴-۴ - سیگنال‌های سینوسی.....	۲۵
۱-۴-۵ - ساخت سیگنال‌ها از روی سیگنال‌های پایه.....	۲۹
۱-۵ - سیستم‌ها و انواع آن‌ها.....	۳۵

- ۸۱..... ۲-۲-۵ پاسخ ورودی دلخواه
- ۸۶..... ۲-۲-۶ ویژگی‌های کانولوشن
- ۹۵..... ۲-۲-۷ پاسخ پله سیستم
- ۹۸..... ۲-۳ ویژگی‌های سیستم‌های LTI
- ۹۸..... ۲-۳-۱ حافظه‌دار و بدون حافظه بودن
- ۹۹..... ۲-۳-۲ علی و غیرعلی بودن
- ۹۹..... ۲-۳-۳ پایدار بودن
- ۱۰۱..... ۲-۴ تابع و سیستم‌های LTI
- ۱۰۲..... ۲-۴-۲ تابع و سیستم‌های LTI زمان گسسته
- ۱۰۴..... ۲-۴-۳ تابع ویژه سیستم‌های LTI زمان پیوسته
- ۱۰۸..... ۲-۵ توصیف سیستم‌های LTI با معادلات دیفرانسیلی و تفاضلی
- ۱۱۵..... ۲-۶ کدهای Matlab
- ۱۱۵..... ۲-۶-۱ دستور conv
- ۱۲۷..... ۳- تبدیل لاپلاس
- ۱۲۷..... ۳-۱ مقدمه
- ۱۲۷..... ۳-۲ تعریف
- ۱۳۹..... ۳-۳ صفرها و قطب‌های سیگنال در صفحه s
- ۱۴۱..... ۳-۴ ویژگی‌های ROC
- ۱۴۷..... ۳-۵ ویژگی‌های تبدیل لاپلاس
- ۱۴۷..... ۳-۵-۱ خطی بودن
- ۱۴۹..... ۳-۵-۲ مقیاس در زمان
- ۱۵۰..... ۳-۵-۳ انتقال زمانی

۱۵۲	۳-۵-۴- انتقال در حوزه S
۱۵۳	۳-۵-۵- مشتق در زمان و حوزه S
۱۵۵	۳-۵-۶- کانولوشن در حوزه زمان
۱۵۶	۳-۵-۷- قضیه مقدار نهایی سیگنال
۱۵۶	۳-۶- تبدیل لاپلاس معکوس
۱۶۸	۳-۷- جمع سیستم
۱۷۳	۳-۸- ویژگی‌های سیستم‌های LTI
۱۷۳	۳-۸-۱- علی غیر علی بودن
۱۷۴	۳-۸-۲- پایداری
۱۷۴	۳-۹- حل سیستم‌های LTI توصیف شده با معادلات دیفرانسیلی
۱۷۸	۳-۱۰- تبدیل لاپلاس یک طرفه
۱۷۸	۳-۱۰-۲- مشتق در زمان
۱۷۸	۳-۱۰-۳- انتگرال در زمان
۱۷۹	۳-۱۱- کدهای Matlab
۱۷۹	۳-۱۱-۱- دستور sym2poly
۱۷۹	۳-۱۱-۲- دستور poly2sym
۱۸۰	۳-۱۱-۳- دستور residue
۱۸۲	۳-۱۱-۴- دستور laplace
۱۸۳	۳-۱۱-۵- دستور ilaplace
۱۸۵	۴- تبدیل Z
۱۸۵	۴-۱- مقدمه
۱۸۵	۴-۲- تعریف

- ۴-۳- صفرها و قطب‌های سیگنال در صفحه Z ۲۰۰
- ۴-۴- ویژگی‌های ROC ۲۰۲
- ۴-۵- ویژگی‌های تبدیل Z ۲۰۶
- ۴-۵-۱- خطی بودن ۲۰۶
- ۴-۵-۲- انتقال زمانی ۲۰۸
- ۴-۵-۳- معکوس زمانی ۲۱۰
- ۴-۵-۴- انتقال در حوزه زمان ۲۱۱
- ۴-۵-۵- ضرب سیگنال در n ۲۱۲
- ۴-۵-۶- ضرب سیگنال در $z0n$ ۲۱۴
- ۴-۵-۷- ضرب سیگنال در $ej\Omega n$ ۲۱۵
- ۴-۵-۸- کانولوشن در حوزه زمان ۲۱۶
- ۴-۵-۹- قضیه مقدار اولیه سیگنال ۲۱۸
- ۴-۶- تبدیل Z معکوس ۲۱۸
- ۴-۷- تابع سیستم ۲۲۵
- ۴-۸- ویژگی‌های سیستم‌های LTI ۲۲۸
- ۴-۸-۱- علی و غیرعلی بودن ۲۳۹
- ۴-۸-۲- پایداری ۲۳۹
- ۴-۹- حل سیستم‌های LTI توصیف شده با معادلات دیفرانسیلی ۲۳۹
- ۴-۱۰- تبدیل Z یک طرفه ۲۵۱
- ۴-۱۰-۲- انتقال زمانی ۲۵۱
- ۴-۱۱- کدهای Matlab ۲۵۳
- ۴-۱۱-۱- دستور $ztrans$ ۲۵۳

- ۴-۱۱-۲- دستور iztrans ۲۵۴
- ۵- تحلیل فوریه سیستم‌های زمان پیوسته ۲۵۷
- ۵-۱- مقدمه ۲۵۷
- ۵-۲- سری فوریه سیگنال‌های متناوب ۲۵۷
- ۵-۲-۲- سری فوریه مثلثاتی ۲۵۸
- ۵-۲-۳- سری فوریه فرم هارمونیکی ۲۷۲
- ۵-۲-۴- سری فوریه فرم نمایی مختلط ۲۷۵
- ۵-۲-۵- الف، امنه و فاز سیگنال متناوب ۲۷۷
- ۵-۲-۶- قضیه پارسل ۲۸۱
- ۵-۲-۷- ناحیه همگرایی سری فوریه ۲۸۱
- ۵-۳- تبدیل فوریه ۲۸۵
- ۵-۳-۱- تعریف تبدیل فوریه ۲۸۵
- ۵-۳-۲- تبدیل فوریه سیگنال‌های حقیقی ۲۹۰
- ۵-۳-۳- ویژگی‌های تبدیل فوریه ۲۹۱
- ۵-۳-۴- قضیه پارسوال ۳۰۴
- ۵-۳-۵- تبدیل فوریه معکوس ۳۰۵
- ۵-۳-۶- ناحیه همگرایی تبدیل فوریه ۳۱۳
- ۵-۳-۷- طیف دامنه و فاز سیگنال ۳۱۳
- ۵-۳-۸- رابطه بین تبدیل فوریه و تبدیل لاپلاس ۳۱۴
- ۵-۳-۹- رابطه بین تبدیل فوریه و سری فوریه ۳۱۶
- ۵-۴- تحلیل سیستم‌های LTI زمان پیوسته با کمک تبدیل فوریه ۳۱۹
- ۵-۴-۱- پاسخ فرکانسی ۳۱۹

- ۵-۴-۲- حل سیستم‌های LTI توصیف شده با معادلات دیفرانسیلی ۳۲۲
- ۵-۵- کدهای Matlab ۳۲۴
- ۵-۵-۱- دستور fourier ۳۲۴
- ۵-۵-۲- دستور ifourier ۳۲۵
- ۶- تحلیل فوریه سیستم‌های زمان گسسته ۳۲۷
- ۶-۱- مقدمه ۳۲۷
- ۶-۲- سری فوریه سیگنال‌های متناوب ۳۲۷
- ۶-۲-۱- سری فوریه گسسته ۳۲۸
- ۶-۲-۳- ویژگی‌های فرایب سری فوریه گسسته ۳۲۹
- ۶-۲-۴- قضیه پارسوال ۳۴۰
- ۶-۳- تبدیل فوریه زمان گسسته ۳۴۰
- ۶-۳-۱- تعریف تبدیل فوریه ۳۴۰
- ۶-۳-۲- تبدیل فوریه سیگنال‌های حقیقی ۳۴۴
- ۶-۳-۳- ویژگی‌های تبدیل فوریه ۳۴۵
- ۶-۳-۴- قضیه پارسوال ۳۵۵
- ۶-۳-۵- تبدیل فوریه معکوس ۳۵۶
- ۶-۳-۶- ناحیه همگرایی تبدیل فوریه ۳۵۷
- ۶-۳-۷- طیف دامنه و فاز سیگنال ۳۵۷
- ۶-۳-۸- رابطه بین تبدیل فوریه و تبدیل Z ۳۵۸
- ۶-۳-۹- رابطه بین تبدیل فوریه و سری فوریه ۳۵۹
- ۶-۳-۱۰- تاثیر نمونه‌برداری سیگنال در حوزه فرکانس ۳۶۲
- ۶-۴- تحلیل سیستم‌های LTI زمان گسسته با کمک تبدیل فوریه ۳۶۴

۳۶۴	۶-۴-۱- پاسخ فرکانسی
۳۶۸	۶-۴-۲- حل سیستم‌های LTI توصیف شده با معادلات تفاضلی
۳۷۱	۶-۵- تبدیل فوریه گسسته سیگنال‌های زمان گسسته
۳۷۱	۶-۵-۱- تعریف
۳۷۲	۶-۵-۲- محاسبه تبدیل فوریه گسسته در Matlab
۳۷۵	۶-۵-۳- افزودنی صفر
۳۷۷	۶-۵-۴- ارتباط بین تبدیل فوریه گسسته و تبدیل فوریه زمان گسسته
۳۷۸	۶-۵-۵- ویژگی‌های تبدیل فوریه گسسته
۳۸۲	۶-۵-۶- قضیه پارسون
۳۸۲	۶-۵-۷- تبدیل فوریه گسسته سیگنال‌های حقیقی
۳۸۷	۷- مقدمه‌ای بر فیلترها
۳۸۷	۷-۱- مقدمه
۳۸۸	۷-۲- سیستم‌های LTI و فیلترها
۳۹۱	۷-۳- دسته بندی فیلترهای دیجیتال
۳۹۲	۷-۳-۱- بررسی فیلتر میانگین‌گیر
۳۹۸	۷-۳-۲- فیلترهای حوزه فرکانس
۴۰۳	۷-۳-۳- بررسی فیلتر مبتنی بر تابع sinc
۴۲۵	مراجع
۴۲۷	ضمایم
۴۲۸	ضمیمه الف: روابط مثلثاتی مهم
۴۲۹	ضمیمه ب: قواعد مجموع سری‌های ریاضی

- ضمیمه ج: قواعد توابع لگاریتمی و نمایی ۴۳۰
- ضمیمه د: قواعد مشتق و انتگرال ۴۳۱
- ضمیمه ه: جدول قواعد مهم اعداد مختلط ۴۳۲
- ضمیمه و: جدول تبدیلات لاپلاس سیگنال‌های پایه ۴۳۴
- ضمیمه ز: جدول ویژگی‌های تبدیل لاپلاس ۴۳۶
- ضمیمه ح: جدول تبدیلات Z سیگنال‌های پایه ۴۳۸
- ضمیمه ط: جدول ویژگی‌های تبدیل Z ۴۴۰
- ضمیمه ی: مقایسه سیستم‌های فرکانس ۴۴۲
- ضمیمه ک: جدول تبدیلات فوریه زمان پیوسته سیگنال‌های پایه ۴۴۳
- ضمیمه ل: جدول ویژگی‌های تبدیل فوریه زمان پیوسته ۴۴۵