

مقدمه‌ای بر

پردازش سیگنال‌های دیجیتال

با استفاده از نرم‌افزار و سخت‌افزار

تألیف:

دکتر کمال محامدپور

دانشیار دانشکده مهندسی برق

دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی



انتشارات دانشگاه تهران

شماره ۲۷۲۹

شماره مسلسل ۵۱۵۴

محمدمدپور، کمال، ۱۳۳۲ -
مقدمه‌ای بر پردازش سیگنال‌های دیجیتال با استفاده از نرم‌افزار و سخت‌افزار / تألیف
کمال محمدمدپور - تهران: دانشگاه تهران، موسسه انتشارات و چاپ، ۱۳۸۴.
ز، ۴۹۶ ص: مصور - (انتشارات دانشگاه تهران: شماره ۲۷۲۹)
ISBN 964-03-5154-7: ۳۵۰۰۰ ریال
فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.
کتابنامه: ص. [۴۹۵] - ۴۹۶.
۱. پردازش سیگنالها - شیوه‌های رقمی، الف. دانشگاه تهران. موسسه انتشارات و چاپ.
ب. عنوان، ج. عنوان: پردازش سیگنال‌های دیجیتال با استفاده از نرم‌افزار و سخت‌افزار.
۶۲۱/۳۸۲۲ TK ۵۱۰۲/۹/۳ م ۷
کتابخانه ملی ایران
۸۴-۲۵۴۴۴ م

شابک ۹۶۴-۰۳-۵۱۵۴-۷ ISBN 964-03-5154-7

عنوان: مقدمه‌ای بر پردازش سیگنال‌های دیجیتال

تألیف: دکتر کمال محمدمدپور

ناشر: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

تاریخ انتشار: ۱۳۸۴ (چاپ اول)

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران

مسئولیت سخت مطالب کتاب با مؤلف است.

«کلیه حقوق برای دانشگاه تهران محفوظ است»

بها: ۳۵۰۰۰ ریال

پست الکترونیک: Press@ut.ac.ir - آدرس سایت: Press.ut.ac.ir

پیشگفتار مؤلف

مباحث سیگنال و سیستم، از موضوعات مهم رشته‌های علوم و مهندسی بوده که کاربردهای متنوعی در زمینه‌هایی مانند مخابرات، هوا-فضا، مهندسی پزشکی، پردازش صحبت و تصویر و کاربردهای نظامی دارند. از طرفی رشد چشمگیر تکنولوژی، توسعه روزافزون سرعت عمل و پردازش در مدارات مجتمع و رایانه‌های دیجیتال، نه تنها امکان پردازش سریع سیگنال‌های آنالوگ (و نیز دیجیتال) را به صورت دیجیتال فراهم آورده است که از نظر قابلیت برنامه ریزی، بهبود عملکرد، دقت پردازش به ویژه در محیط‌های نوین، کاهش هزینه، پردازش دیجیتالی سیگنال‌ها را موضوعی جالب و توجه به آن را ناگزیر ساخته است.

پردازش سیگنال‌های دیجیتال هم به صورت نرم افزاری به وسیله رایانه و هم سخت افزاری با استفاده از میکروپروسسورهای قابل برنامه ریزی انجام می‌یابد. امروزه، تلفیق این دو نوع پردازش به صورت همزمان در کارت‌های پردازش TMS چند منظوره و یا کاربردهای خاص به سرعت رو به گسترش بوده و در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

درس پردازش سیگنال‌های دیجیتال، یکی از دروس اصلی تحصیلات تکمیلی است که در اغلب دانشگاه‌های معتبر دنیا در گرایش‌های مختلف برق ارائه می‌گردد. اگرچه منابع متعدد بسیار خوبی، به زبان انگلیسی، وجود دارند که می‌توان به آنها رجوع کرد، وجود کتابی که هم مبانی نظری را به حد کافی داشته و بتواند نیازهای کاربردی را برآورده سازد، و هم به مسائل نرم افزاری- سخت افزاری پردازش پرداخته و دانشجویان را با کارت‌های TMS آشنا سازد، کمتر یافت می‌شود. موارد پیشگفته انگیزه تالیف کتابی به زبان فارسی شد که اینک پیش روی

شماست و حاصل بیش از یک دهه تجربه تدریس این موضوع در دانشگاه‌های مختلف است. در این جا ابتدا خداوند منان را سپاس می‌گویم که بار دیگر این توفیق را عنایت نمود تا بتوانم در خدمت دانشجویان و دانش‌پژوهان باشم. همچنین لازم است از راهنمایی‌های استاد ارجمند جناب آقای دکتر جبه دار مارالانی و نیز مؤسسه محترم انتشارات دانشگاه تهران که چاپ و انتشار آن را تقبل کرده اند، تشکر نمایم. بر خود لازم می‌دانم از همه کسانی که در مراحل مختلف چاپ کتاب یاری نموده‌اند، به ویژه سرکار خانم ژیلا عزیزی که زحمت تایپ کتاب را کشیده‌اند، و نیز سرکار خانم ترکان که آن را ویراستاری کرده‌اند، صمیمانه قدردانی نمایم.

کمال محامدپور

دانشیار گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

بسم الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

۱۱	فصل ۱: سیگنال‌ها و سیستم‌های زمان-گسسته
۱۱	۱-۱ مقدمه
۱۲	۱-۱-۱ سیگنال‌های زمان - گسسته
۱۷	۲-۱ سیستم‌های زمان-گسسته تغییر ناپذیر با انتقال (LSI)
۱۸	۱-۲-۱ علی بودن و پایداری
۱۹	۲-۲-۱ توصیف ورودی-خروجی و نمایش بلوکی سیستم‌های گسسته
۲۲	۳-۱ توصیف سیستم‌های LSI با معادلات تفاضلی
۲۴	۱-۳-۱ پاسخ سیستم‌های LTI به ورودی‌های دلخواه
۲۷	۲-۳-۱ حل معادلات تفاضلی با ضرایب ثابت
۳۱	۳-۳-۱ تعیین پاسخ ضربه واحد سیستم‌های گسسته
۳۳	۴-۱ تحلیل فرکانسی سیگنال‌ها و سیستم‌های زمان-گسسته
۳۴	۱-۴-۱ سری فوریه سیگنال‌های گسسته متناوب
۳۵	۲-۴-۱ تبدیل فوریه سیگنال‌های گسسته نامتناوب
۴۰	۳-۴-۱ خواص تبدیل فوریه برای سیگنال‌های گسسته
۴۶	۴-۴-۱ سیستم‌های گسسته و پاسخ فرکانسی
۵۱	۵-۱ سیگنال‌های زمان-گسسته تصادفی
۵۶	مسائل فصل ۱

۶ پردازش سیگنال‌های دیجیتال

۶۹	فصل ۲: تبدیل Z و کاربرد آن
۶۹	۲-۰ مقدمه
۶۹	۲-۱ تبدیل Z و همگرایی
۷۶	۲-۲ خواص تبدیل Z
۸۴	۲-۳ تبدیل معکوس Z
۹۳	۲-۴ تبدیل Z یکطرفه
۹۳	۲-۴-۱ تبدیل Z یکطرفه و خواص
۹۶	۲-۴-۲ حل معادلات تفاضلی
۹۸	۲-۵ تحلیل سیستم‌های LSI در حوزه Z
۹۹	۲-۵-۱ پایداری و علی بودن
۱۰۱	۲-۵-۲ سیستم‌های معکوس
۱۰۲	۲-۵-۳ پاسخ فرکانسی تابع سیستم گویا
۱۰۴	۲-۵-۴ سیستم‌های تمام-گذر
۱۰۵	۲-۵-۵ سیستم‌های حداقل-فاز
۱۱۰	۲-۶ سیستم‌های فاز خطی
۱۱۳	۲-۷ محاسبه هندسی تبدیل فوریه از نمودار قطب - صفر
۱۱۵	مسائل فصل ۲

۱۳۱	فصل ۳: نمونه‌برداری
۱۳۱	۳-۰ مقدمه
۱۳۲	۳-۱ قضیه نمونه برداری
۱۳۷	۳-۲ نمونه برداری سیگنال‌های میان‌گذر
۱۳۹	۳-۳ مدل‌های A/D و D/A
۱۴۲	۳-۳-۱ چندی و کد کردن سیگنال‌های گسسته
۱۴۸	۳-۳-۲ بازیابی سیگنال و تبدیل D/A
۱۴۹	۳-۳-۳ نمونه‌بردار - نگه دارنده
۱۵۲	۳-۴ تغییر نرخ نمونه‌برداری با پردازش زمان-گسسته
۱۵۳	۳-۴-۱ کاهش نرخ نمونه‌برداری ($Decimation$)
۱۵۵	۳-۴-۲ افزایش نرخ نمونه‌برداری ($Interpolation$)
۱۵۷	۳-۴-۳ پردازش سیگنال چندنرخه
۱۶۶	مسائل فصل ۳

۱۷۹	فصل ۴: تبدیل فوریه گسسته (DFT)
۱۷۹	۴-۰ مقدمه
۱۷۹	۴-۱ سری فوریه گسسته (DFS)
۱۸۲	۴-۲ خواص سری فوریه گسسته
۱۸۴	۴-۲-۱ کانولوشن متناوب
۱۸۶	۴-۳ تبدیل فوریه گسسته (DFT)
۱۸۸	۴-۳-۱ DFT به عنوان یک تبدیل خطی
۱۹۰	۴-۴ خواص تبدیل فوریه گسسته
۱۹۶	۴-۴-۱ کانولوشن دایروی
۲۰۰	۴-۴-۲ خواص مرتبط با کانولوشن دایروی
۲۰۲	۴-۵ رابطه DFT با سایر تبدیل ها
۲۰۴	۴-۶ تحلیل سیستم های LTI با استفاده از DFT
۲۰۴	۴-۶-۱ کانولوشن خطی و DFT
۲۰۶	۴-۶-۲ فیلتر کردن خطی با DFT
۲۱۴	مسائل فصل ۴
۲۲۱	فصل ۵: پیاده سازی سیستم های گسسته
۲۲۱	۵-۰ مقدمه
۲۲۲	۵-۱ نمایش بلوکی و گراف جریان سیستم
۲۳۳	۵-۲ ساختار سیستم های IIR
۲۳۳	۵-۲-۱ شکل های مستقیم
۲۳۵	۵-۲-۳ تحقق موازی
۲۳۹	۵-۲-۴ گراف معکوس
۲۴۰	۵-۳ ساختارهای سیستم های FIR
۲۴۱	۵-۳-۱ شکل مستقیم ساختار FIR
۲۴۲	۵-۳-۳ سیستم های FIR فاز - خطی
۲۴۴	۵-۳-۴ ساختار نمونه - فرکانسی
۲۴۷	۵-۳-۵ ساختار lattice
۲۵۳	۵-۴ ساختار فضایی حالت
۲۵۵	۵-۴-۱ حل معادلات حالت
۲۵۸	۵-۵ نمایش اعداد

۲۵۸	۱-۵-۵ نمایش نقطه-ثابت
۲۶۱	۲-۵-۵ نمایش نقطه-شناور
۲۶۳	۳-۵-۵ خطای گرد کردن و برش
۲۶۴	۶-۵ اثرهای چندی کردن ضرایب سیستم های LSI
۲۶۴	۱-۶-۵ اثرهای چندی کردن ضرایب سیستم های IIR
۲۶۷	۲-۶-۵ اثرهای چندی کردن ضرایب سیستم های FIR
۲۶۹	مسائل فصل ۵

۲۸۳	فصل ۶: محاسبه سریع DFT و الگوریتم های FFT
۲۸۳	۰-۶ مقدمه
۲۸۵	۱-۶ الگوریتم $DIT-FFT$
۲۹۱	۲-۶ پیاده سازی الگوریتم $DIT-FFT$
۲۹۷	۳-۶ الگوریتم $DIF-FFT$
۳۰۱	۴-۶ الگوریتم FFT برای N مرکب
۳۰۵	۵-۶ روش فیلتر خطی برای محاسبه DFT
۳۰۶	۱-۵-۶ الگوریتم Goertzel
۳۰۸	۲-۵-۶ الگوریتم $Chirp-z$
۳۱۱	۶-۶ کاربردهای الگوریتم های FFT
۳۱۱	۱-۶-۶ محاسبه سریع DFT رشته های حقیقی
۳۱۲	۲-۶-۶ محاسبه سریع DFT رشته حقیقی $2N$ -نقطه
۳۱۳	۳-۶-۶ انجام فیلتر خطی با استفاده از FFT
۳۱۴	۴-۶-۶ محاسبه توابع همبستگی با FFT
۳۱۷	۵-۶-۶ تخمین طیف توان با FFT
۳۲۴	۷-۶ اثرهای چندی کردن در محاسبه FFT, DFT
۳۲۴	۱-۷-۶ خطای چندی کردن در محاسبه مستقیم DFT
۳۲۶	۲-۷-۶ خطای چندی کردن در الگوریتم های FFT
۳۲۹	مسائل فصل ۶

۳۳۹	فصل ۷: طراحی فیلترهای دیجیتال
۳۳۹	۰-۷ مقدمه
۳۴۰	۱-۷ مروری بر فیلترهای آنالوگ

۳۴۴	۱-۱-۷ فیلترهای بانرورت
۳۴۷	۲-۱-۷ فیلترهای چپی چف
۳۵۰	۳-۱-۷ فیلترهای بیضوی
۳۵۲	۴-۱-۷ فیلترهای بسل
۳۵۲	۵-۱-۷ تبدیل و مقیاس دهی فیلترهای آنالوگ
۳۵۶	۲-۷ طراحی فیلترهای <i>IIR</i> با استفاده از فیلترهای آنالوگ
۳۶۴	۳-۷ تبدیل فیلتر پایین گذر دیجیتال به سایر فیلترها
۳۶۵	۴-۷ طراحی کامپیوتری فیلتر دیجیتال <i>IIR</i>
۳۶۶	۱-۴-۷ روش تقریب <i>Pade</i>
۳۶۸	۲-۴-۷ روش تقریب حداقل مربعات (<i>Prony</i>)
۳۷۰	۵-۷ طراحی فیلترهای <i>FIR</i>
۳۷۹	۶-۷ طراحی فیلترهای <i>FIR</i> به کمک کامپیوتر
۳۷۹	۱-۶-۷ طراحی فیلترهای <i>FIR</i> فاز خطی با نمونه های فرکانسی
۳۸۱	۲-۶-۷ فیلترهای <i>FIR</i> فاز خطی هم موجک
۳۸۸	۳-۶-۷ فیلترهای <i>FIR</i> حداقل - مربعات معکوس
۳۹۰	۷-۷ مقایسه فیلترهای <i>IIR, FIR</i>
۳۹۲	مسائل فصل ۷
۴۰۱	فصل ۸: نرم افزار - سخت افزارهای پردازش سیگنال های دیجیتال
۴۰۱	۸-۰ مقدمه
۴۰۳	۱-۸ طراحی سیستم های <i>DSP</i>
۴۰۶	۲-۸ معماری پردازشگرهای دیجیتال
۴۰۹	۳-۸ پردازش سیگنال با میکروپروسسور
۴۱۳	۴-۸ سیر تحول و توانایی های <i>DSP</i>
۴۱۵	۵-۸ مشخصات پردازشگرهای <i>DSP</i>
۴۱۸	۱-۵-۸ واسطه های ورودی - خروجی (<i>I/O</i>)
۴۲۰	۲-۵-۸ معماری حافظه
۴۲۰	۶-۸ مثال هایی از پردازشگرهای <i>DSP</i>
۴۲۱	۱-۶-۸ پردازشگر <i>DSP32C</i>
۴۲۱	۲-۶-۸ پردازشگر <i>ADSP21060</i>
۴۲۳	۳-۶-۸ پردازشگرهای <i>TMS320C2x</i>

۱۰ پردازش سیگنال‌های دیجیتال

- ۴۲۵ $TMS320C25$ پردازشگر ۱-۳-۶-۸
- ۴۳۰ $TMS320C50$ پردازشگر ۲-۳-۶-۸
- ۴۳۳ ۷-۸ برنامه‌نویسی پردازشگرهای DSP
- ۴۳۷ ۱-۷-۸ زبان اسمبلی
- ۴۴۱ ۲-۷-۸ پردازش بلادرنگ
- ۴۴۲ ۸-۸ پیاده‌سازی فیلترهای دیجیتال FIR و IIR با کارت $TMS320C25$
- ۴۴۳ ۱-۸-۸ ساختار غیربلادرنگ فیلترهای دیجیتال
- ۴۴۷ ۲-۸-۸ تبدیل C به زبان اسمبلی
- ۴۴۹ ۳-۸-۸ مثالی از تابع زبان اسمبلی
- ۴۵۷ پیوست الف: مثال‌هایی از پردازش سیگنال‌های دیجیتال با برنامه‌های C
- ۴۵۷ الف - ۱ نمونه‌برداری از توابع سینوسی و نمایی
- ۴۵۸ الف - ۲ فیلتر میان‌گذر دیجیتال
- ۴۶۰ الف - ۳ پاسخ فرکانسی فیلتر میان‌گذر دیجیتال
- ۴۶۱ الف - ۴ طراحی فیلتر غیربازگشتی
- ۴۶۳ الف - ۵ طراحی فیلتر غیربازگشتی با پنجره $Hamming$
- ۴۶۶ الف - ۶ طراحی فیلتر نمونه - فرکانس
- ۴۶۹ الف - ۷ تبدیل فوریه گسسته (DFT)
- ۴۷۳ الف - ۸ تبدیل فوریه سریع (FFT)
- ۴۷۶ الف - ۹ قطب‌ها و صفرهای فیلترهای باترورث و چپی چف
- ۴۸۳ پیوست ب: برنامه‌های زبان C فیلترهای دیجیتال FIR و IIR
- ۵۰۱ پیوست ج: کد اسمبلی فیلتر پایین‌گذر باترورث با پردازشگر $TMS320C2x$
- ۵۰۵ مراجع