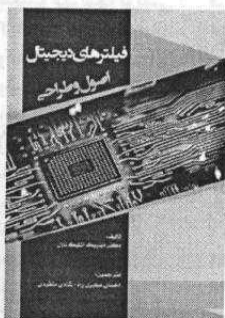


۲۰۲۴۹۷۷

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



فیلترهای دیجیتال: اصول و طراحی

تألیف:

دکتر دیتریک اشلیک تارل

مترجم:

احسان صابری راد

شادی منفردی



Email : simaye.danesh@yahoo.com

Telegram : [telegram.me/simayedaneshpub](https://t.me/simayedaneshpub)

سرشناسه	: اشلیشت هرله، دیتریش، ۱۹۴۹-م. -Schlichthärle, Dietrich, 1949
عنوان و نام پدیدآور	: فیلترهای دیجیتال: اصول و طراحی / تألیف دیتریک اشلیک تارل؛ مترجمین احسان صابری راد، شادی منفردی.
مشخصات نشر	: تهران: سیمای دانش، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ۵۰۶ ص.
شابک	: 978-600-120-435-7
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Digital filters : basics and design, 2nd ed.c 2011.
موضوع	: پردازش سیگنال ها -- ریاضیات
موضوع	: Signal processing -- Mathematics
موضوع	: صافی های رقمی (ریاضیات)
موضوع	: Digital filters (Mathematics)
شناسه افزوده	: صابری راد، احسان، ۱۳۶۰-، مترجم
شناسه افزوده	: منفردی، شادی، ۱۳۶۴-، مترجم
رده بندی کتب	: ۱۳۹۷ الف ۵/۹/TK۵۱۰۲
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۸۲
شماره ثبت کتابخانه ملی	: ۵۵۹۹۱۲۹

فیلترهای دیجیتال: اصول و طراحی

تألیف:	دکتر دیتریک اشلیک تارل
مترجمین:	احسان صابری راد - شادی منفردی
ناشر:	انتشارات سیمای دانش
ناشر همکار:	انتشارات آذر
نوبت چاپ:	اول/۱۳۹۸
تیراژ:	۱۰۰۰ نسخه
حروفچینی:	موسسه مهراد
صفحه آرایی:	موسسه مهراد - مجتبی نظر بگری
طراحی جلد:	موسسه مهراد - محسن مایلی
لیتوگرافی:	باختر
چاپخانه:	فرشیوه
مطبع:	روشنک
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۱۲۰-۴۳۵-۷
قیمت:	۶۵۰۰۰۰ ریال

کلیه حقوق این اثر برای انتشارات سیمای دانش محفوظ است.

انتشارات سیمای دانش: خیابان انقلاب - ابتدای خیابان ۱۲ فروردین
 پلاک ۳۱۸ - تلفن: ۶۶۴۶۴۷۷۹
 فروشگاه سیمای دانش: ۶۶۴۶۰۵۴۵
 انتشارات آذر: ۶۶۴۶۵۸۳۰
 کتابفروشی عصر دانش: ۶۶۴۹۳۷۰۱
 کتابفروشی پرهام: ۶۶۴۶۸۲۳۵

پیشگفتار

امروزه تعداد زیادی از برنامه‌های کاربردی از فیلترهای دیجیتال یا الگوریتم‌های پردازش سیگنال دیجیتال (DSP) استفاده می‌کنند. در انواع تجهیزات الکترونیکی، عملکرد آنالوگ به طور فزاینده‌ای توسط الگوریتم‌های دیجیتال جایگزین شده‌اند. به عنوان مثال الگوریتم‌هایی برای تجهیزات صوتی و تصویری، سیستم‌های ارتباطی، کنترل و رادار و برنامه‌های پزشکی و ... ایجاد شده است. با بهبود تکنولوژی CMOS شاهد افزایش پیچیدگی و در نتیجه بالا رفتن سرعت پردازش مدارهای مجتمع اختصاصی و پردازنده‌های سیگنال قابل برنامه ریزی هستیم. سرعت بالای کلاک و پردازش موازی که منجر به افزایش توان عملیاتی می‌شود بیشتر برای برنامه‌های کاربردی زمان - واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مزایای پردازش سیگنال دیجیتال بر اساس این واقعیت است که عملکرد الگوریتم‌های کاربردی همیشه قابل پیش‌بینی است و هیچ وابستگی به تolerانس اجزای الکتریکی همانند سیستم‌های آنالوگ وجود ندارند. این امر اجازه می‌دهد مبداه سازی‌ها سیستم‌های با پایداری بلند مدت انجام گیرد. تنظیمات قطعات که اغلب در مدارهای آنالوگ مورد نیاز است منسوخ شده و همچنین در فرکانس بسیار پایین می‌توان بدون رخ دادن مشکلاتی که در سیستم‌های آنالوگ شاهد آن بودیم، پردازش را انجام داد.

در زمینه مصارف کاربردی، پردازش سیگنال دیجیتال استفاده گسترده‌ای در ذخیره سازی و تولید سیگنال‌های صوتی و تصویری دارد. در مقایسه با فزآوری vinyl، تکثیر از سیگنال‌های صوتی می‌تواند به صورت دلخواهانه و بدون هیچ گونه از دست دادن کیفیت انجام شود. علاوه بر پردازش سیگنال در زمان - واقعی، تکنیک‌های شبیه سازی این اجازه را به ما می‌دهد که با تقلید از فرآیندهای فیزیکی در مقیاس زمانی دلخواه، بر روی کامپیوترها آن الگوریتم را شبیه‌سازی نماییم.

هدف این کتاب، ارائه مشخصات و ویژگی‌های طراحی فیلترهای دیجیتال است. نقطه شروع برای طراحی فیلترهای بازگشتی تئوری سیستم‌های زمان پیوسته است که در فصل ۱ به آن اشاره شده است. در فصل ۲ روش‌های طراحی برای فیلترهای آنالوگ مورد بررسی قرار گرفته که مبتنی بر چند جمله‌ای‌های باتروث، چبیشف، بسل و همچنین توابع بیضوی می‌باشند. پس از معرفی تئوری سیستم‌های زمان گسسته در فصل ۳ و ساختارهای اصلی فیلترهای دیجیتال در فصل ۵، ما قوانینی را که منجر به محاسبه ضرایب فیلترهای دیجیتال بازگشتی از فیلترهای مرجع زمان پیوسته می‌شوند را در فصل ۶ بیان می‌نماییم. بخش مهمی از این کتاب برای طراحی فیلترهای غیر بازگشتی که با روش‌های طراحی فیلتر کلاسیک قابل تحقق نیستند، اختصاص یافته است. معیارهای تقریبی مانند

کمینه کردن میانگین مربع یا بیشینه خطا و طراحی با حداکثر تختی در فصل ۷ ارائه شده است. از مهمترین الگوریتم‌ها می‌توان به الگوریتم مبادله Remez اشاره نمود که به طور گسترده‌ای در طراحی فیلتر تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نقطه تماس بین دنیای سیگنال‌های فیزیکی که زمان پیوسته هستند و دنیای سری اعداد و الگوریتم‌های ریاضی که به طور طبیعی زمان گسسته هستند، قضیه نمونه برداری می‌باشد و در فصل ۴ این موضوع بررسی می‌شود.

فصل هشتم به تمام اثراتی که به خاطر طول ثبات محدود در پیاده سازی سخت افزاری رخ می‌دهد اختصاص داده شده است. نمونه سیگنال و ضرایب فیلتر تنها با دقت محدود نمایش داده می‌شود که ممکن است اثرهایی همچون انحراف از اهداف طراحی، افزایش نویز و ایجاد ناپایداری داشته باشد.

در قسمت پیوسته‌ها، معادله‌ای از جداول طراحی فیلتر برای طراحی فیلترهای باتروث، چبیشف، بیضوی و بسل بیان شده است. علاوه بر این، چند زیر برنامه به زبان توربو پاسکال نوشته شده است که می‌تواند در برنامه‌های طراحی فیلتر از آن استفاده نمود. البته می‌توان این زیر برنامه‌ها را براحتی به زبانهای دیگر برنامه نویسی تبدیل نمود.

مطالعه این کتاب نیازمند شناخت تنوع سیستم‌های زمان پیوسته است. در این زمینه، فصل ۱ تنها مختصری از شرایط و روابط این سیستم‌ها را که در فصل‌های بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد، ارائه می‌دهد. دانش پایه از جبر، محاسبات بینهایت کوچک و ریاضیات اعداد مختلط نیز مورد نیاز می‌باشد.

فهرست مطالب

۱۵	فصل اول - سیستم‌های زمان پیوسته
۱۵	۱-۱ روابط در حوزه زمان
۱۶	۲-۱ روابط در حوزه فرکانس
۱۷	۱-۲ تبدیل لاپلاس
۱۸	۲-۲ تبدیل فوریه
۲۰	۳-۱ تابع تبدیل
۲۶	۴-۱ تابع تبدیل تمام گذر
۲۷	۵-۱ مربع حوزه تابع تبدیل
۳۱	فصل دوم - فیلترهای آنالوگ
۳۲	۱-۲ تقریب فیلتر
۳۵	۲-۲ فیلتر باترورث
۳۹	۳-۲ فیلتر چیشف
۴۴	۴-۲ فیلتر چیشف معکوس
۴۶	۵-۲ فیلتر بیضوی
۴۷	۱-۵-۲ خواص تابع بیضوی ژاکوبین
۵۱	۲-۵-۲ طراحی فیلتر بیضوی
۵۵	۳-۵-۲ محاسبه صفر و قطبها
۶۰	۶-۲ فیلترهای بسل
۶۷	۷-۲ تبدیل فیلتر
۶۹	۱-۷-۲ تبدیلات بالا گذر - پایین گذر
۷۰	۲-۷-۲ تبدیلات برای فیلتر میان گذر
۷۱	۳-۷-۲ تبدیلات میان نگذر
۷۴	۸-۲ شبکه‌های فیلتر پسیو
۷۴	۱-۸-۲ دو درگاه بدون تلفات
۷۹	۲-۸-۲ معادلات دو ورودی
۸۱	۳-۸-۲ پیکربندیهای شبکه
۸۳	۴-۸-۲ فیلترهای نردبانی
۸۵	۵-۸-۲ فیلتر مشبک

۹۳	فصل سوم- سیستم‌های زمان گسسته
۹۴	۱-۳ تبدیل زمان گسسته
۹۶	۲-۳ روابط در حوزه فرکانس
۱۰۲	۳-۳ تبدیل Z
۱۰۲	۱-۳-۳ تعریف تبدیل Z
۱۰۲	۲-۳-۳ ویژگی‌های تبدیل Z
۱۰۸	۴-۳ معیار پایداری در حوزه زمان
۱۰۹	۵-۳ روابط کاربردی
۱۰۹	۱-۵-۳ اندازه در $\omega = \pi/T$ و $\omega = 0$
۱۰۹	۲-۵-۳ قضیه پارسه‌ال (Parseval)
۱۱۰	۳-۵-۳ محاسبه تأخیر گروه در حوزه Z
۱۱۳	فصل چهارم- تئوری نمونه برداری
۱۱۳	۱-۴ مقدمه
۱۱۳	۲-۴ نمونه برداری
۱۱۵	۳-۴ سیگنال‌های باند محدود
۱۱۶	۴-۴ تبدیل سیگنال
۱۱۶	۱-۴-۴ تبدیل آنالوگ به دیجیتال
۱۱۹	۲-۴-۴ تبدیل دیجیتال به آنالوگ
۱۱۹	۱-۲-۴-۴ فرآیند ظاهری پیاده سازی
۱۲۰	۲-۲-۴-۴ تحلیل‌های ریاضی فرآیند تبدیل D/A
۱۲۱	۳-۲-۴-۴ ذخیره سازی و پخش سیگنال‌های آنالوگ
۱۲۵	۴-۲-۴-۴ بازسازی سیگنال ایده آل
۱۲۹	فصل پنجم- ساختارهای فیلتر
۱۲۹	۱-۵ نمایش گرافیکی شبکه‌های زمان گسسته
۱۲۹	۱-۱-۵ بلوک دیاگرام و نمودار جریان
۱۳۳	۲-۱-۵ واقعی بودن
۱۳۴	۲-۵ فیلترهای FIR
۱۳۴	۱-۲-۵ ساختار اولیه فیلترهای FIR
۱۳۸	۲-۲-۵ پاسخ اندازه
۱۳۹	۳-۲-۵ صفرهای مزدوج متقابل

۱۴۱	۴-۲-۵ پاسخ فاز
۱۴۳	۵-۲-۵ تاخیر گروه
۱۴۶	۶-۲-۵ فیلترهای فاز خطی
۱۵۲	۳-۵ فیلترهای FIR
۱۵۲	۱-۳-۵ یک مثال مقدماتی
۱۵۳	۲-۳-۵ فیلترهای فرم مستقیم
۱۵۷	۳-۳-۵ صفرها و قطبها
۱۶۰	۴-۳-۵ ملاحظات پایداری در حوزه فرکانس
۱۶۲	۴-۵ ساختارها، فضای حالت
۱۶۷	۵-۵ فرم نرمال
۱۶۹	۶-۵ فیلترهای نردبانی
۱۷۰	۱-۶-۵ فیلترهای نردبانی کسپف
۱۷۵	۲-۶-۵ فیلترهای دیجیتال
۱۷۶	۱-۲-۶-۵ پارامترهای موج
۱۸۲	۲-۲-۶-۵ تجزیه شبکه‌های مرجع بانوک به شبکه‌های یک و چند درگاه
۱۸۶	۳-۲-۶-۵ انعکاس در خازنها و سلفها
۱۸۹	۴-۲-۶-۵ قوانین تبدیل دو خطی
۱۹۰	۵-۲-۶-۵ رعایت شرایط واقعی
۱۹۴	۶-۲-۶-۵ بلوک فیلتر دیجیتال موج مرتبه دو
۱۹۶	۷-۵ فیلترهای تمام گذر
۱۹۷	۱-۷-۵ تابع تبدیل تمام گذر
۲۰۳	۲-۷-۵ ساختارهای فیلتر تمام گذر
۲۰۳	۱-۲-۷-۵ فرم مستقیم
۲۰۵	۲-۲-۷-۵ استخراج ضرب کننده
۲۱۰	۳-۲-۷-۵ فیلتر دیجیتال موج
۲۱۸	۳-۷-۵ کاربردها
۲۱۸	۱-۳-۷-۵ ساختار فیلتر Markel و Gray
۲۲۲	۲-۳-۷-۵ فیلتر مشبک دیجیتال
۲۲۷	۲-۳-۷-۵ فیلتر Notch
۲۳۱	۴-۳-۷-۵ اکولایزرها

۲۳۵.....	۵-۷-۳-۵ فیلترهای فاز خطی تقریبی
۲۴۰.....	۵-۷-۳-۶ ساختار بانک فیلتر
۲۴۲.....	۵-۷-۳-۷ انتقال فاز ۹۰ درجه
۲۴۵.....	۵-۷-۳-۸ تاخیر کسری
۲۴۹.....	۵-۸-۸ نرم افزار الگوریتم‌های فیلتر دیجیتال
۲۵۰.....	۵-۸-۱ ساختار فضای حالت
۲۵۴.....	۵-۸-۲ زیر برنامه
۲۵۶.....	۵-۸-۳ بلوکهای فیلتر مرتبه دوم
۲۶۴.....	۵-۸-۴ فیلترهای FIR
۲۶۷.....	۵-۸-۵ پیاده سازی ممیز ثابت
۲۶۹.....	فصل ششم - طراحی فیلترهای IIR
۲۶۹.....	۶-۱ مقدمه
۲۷۰.....	۶-۲ تئوری حفظ کانولیشن
۲۷۳.....	۶-۳ تقریب در حوزه زمان
۲۷۴.....	۶-۳-۱ پاسخهای فیلتر پیوسته در زمان
۲۷۵.....	۶-۳-۲ نمونه برداری از پاسخهای فیلتر آنالوگ
۲۸۰.....	۶-۳-۳ طراحی ضربه-ثابت
۲۸۵.....	۶-۳-۴ طراحی پله-ثابت
۲۸۹.....	۶-۳-۵ طراحی شیب-ثابت
۲۹۴.....	۶-۳-۶ خلاصه
۲۹۴.....	۶-۴ تقریب در حوزه فرکانس
۲۹۵.....	۶-۴-۱ روش دیفرانسیل
۲۹۹.....	۶-۴-۲ تبدیل دوخطی
۳۰۴.....	۶-۴-۳ طراحی فیلتر عملی با استفاده از تبدیل دوخطی
۳۰۸.....	۶-۴-۴ فیلترهای IIR با مشخصه‌های بسل
۳۱۱.....	۶-۵ طراحی فیلتر تمام گذر
۳۱۵.....	۶-۵-۱ درون یابی
۳۲۴.....	۶-۵-۲ طراحی حداقل میانگین مربعات
۳۲۹.....	۶-۵-۳ طراحی شبه-ریپل یکنواخت
۳۳۲.....	۶-۵-۴ طراحی کاملاً یکنواخت

۳۳۶.....	۵-۵-۶ طراحی MAXFLAT
۳۴۱.....	فصل هفتم- طراحی فیلتر FIR
۳۴۱.....	۱-۷ مقدمه
۳۴۲.....	۲-۷ فیلترهای فاز خطی
۳۴۵.....	۳-۷ نمونه برداری فرکانس
۳۵۲.....	۴-۷ به حداقل رساندن میانگین مربع خطا
۳۵۵.....	۱-۴-۷ روش مستقیم
۳۶۱.....	۲-۴-۷ روش پنجره زنی
۳۶۶.....	۳-۴-۷ پاسفیلتر اندر دلتخواه
۳۷۰.....	۵-۷ تقریب جیسیف
۳۷۰.....	۱-۵-۷ الگوریتم تعویض Demux
۳۷۳.....	۲-۵-۷ درون یابی اندجوا
۳۷۷.....	۳-۵-۷ معرفی یک تابع وین
۳۸۰.....	۴-۵-۷ فیلترهای حالت ۲، ۳ و ۴
۳۸۱.....	۵-۵-۷ فیلترهای FIR مینیمم فاز
۳۸۵.....	۶-۷ طراحی MAXFLAT
۳۹۳.....	فصل هشتم- اثرات ثباتهایی با طول محدود
۳۹۳.....	۱-۸ مقدمه
۳۹۴.....	۲-۸ نمایش اعداد
۳۹۴.....	۱-۲-۸ اعداد ممیز ثابت
۳۹۸.....	۲-۲-۸ اعداد ممیز شناور
۳۹۹.....	۳-۸ کوانتیزاسیون
۳۹۹.....	۱-۳-۸ اعداد ممیز ثابت
۴۰۴.....	۲-۳-۸ اعداد ممیز شناور
۴۰۶.....	۴-۸ رفتار نویز سیستم
۴۰۶.....	۱-۴-۸ نرخ سیگنال به نویز
۴۰۹.....	۲-۴-۸ فیلتر کردن نویز در سیستمهای LSI
۴۱۰.....	۳-۴-۸ استفاده بهینه از محدوده دینامیک
۴۱۱.....	۵-۸ بهینه کردن نویز با معماری ممیز ثابت
۴۱۲.....	۱-۵-۸ رفتار نویز در بلوکهای فیلتر درجه یک و دو

۴۱۹.....	۲-۵-۸ شکل دادن به طیف نویز.....
۴۲۵.....	۳-۵-۸ نویز در یک بلوک درجه دوم آبشاری.....
۴۲۹.....	۶-۸ ضریب با طول کلمه محدود.....
۴۲۹.....	۱-۶-۸ ضریب حساسیت.....
۴۳۲.....	۲-۶-۸ نمایش گرافیکی تراکم قطبها.....
۴۳۷.....	۳-۶-۸ افزایش تراکم قطب در فرکانسهای بالا و پایین.....
۴۴۱.....	۴-۶-۸ نکات دیگر درباره حساسیت ضریب.....
۴۴۳.....	۵-۶-۸ یک مثال برای نتیجه گیری.....
۴۴۶.....	۷-۸ چرخه محدود.....
۴۴۷.....	۱-۷-۸ غیر خطی در پیاده سازی های واقعی.....
۴۴۹.....	۲-۷-۸ پایداری در فرکانس خفیه.....
۴۵۴.....	۳-۷-۸ پایداری با اصلاح کوانتیزاسیون و سرریز.....
۴۵۴.....	۴-۷-۸ یک رویکرد سازنده برای پایداری.....
۴۵۴.....	۱-۴-۷-۸ سیستم خطی.....
۴۵۷.....	۲-۴-۷-۸ پایداری سیستم غیر خطی.....
۴۷۶.....	۶-۷-۸ خلاصه.....
۴۷۷.....	پیوست.....
۵۰۳.....	مراجع.....