

به نام آن که جان را فکرت آموخت

پردازش سیگنال‌های

دیجیتال

پردازش سیگنال‌های دیجیتال

آناند کومار

دکتر محمد اسماعیل کلانتری
(عضو هیات علمی دانشگاه)





پردازش سیگنال‌های دیجیتال

سرشناسه	: کومار، آناند - Anand kumar
عنوان و نام پدیدآور	: پردازش سیگنال‌های دیجیتال/ آناند کومار ؛ [ترجمه] محمداسماعیل کلاتری.
مشخصات نشر	: تهران: فدک ایساتیس، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۹۱۶ ص: نمودار، جدول
شابک	: ۵۰۰۰۰ ریال : ۷-۵-۹۴۷۳۵-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی Digital Signal Processing
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: ارتباطات رقمی
شناسه افزوده	: کلاتری، محمداسماعیل، ۱۳۲۶-، مترجم
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۵ م۳/پ۴/TK۵۱۰۳/۷
رده بندی دیویی:	: ۶۲۱/۳۸۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۵۷۸۳۸۱

ترجمه	: دکتر محمداسماعیل کلاتری
مدیر تولید	: رضا کرمی شاهنده
حروفچینی و صفحه آرایی	: واحد تولید انتشارات فدک ایساتیس
نوبت چاپ	: اول - ۱۳۹۵
تیراژ	: ۵۰۰
قیمت	: ۵۰۰۰۰ ریال (شومیز) - ۵۷۰۰۰۰ ریال (گالینگور)
شابک	: ۷-۵-۹۴۷۳۵-۶۰۰-۹۷۸

فروشگاه : تهران - خیابان انقلاب - بین خیابان فروردین و منبری جاوید - روبروی دبیرخانه دانشگاه تهران - کتابفروشی فلاح
تلفن: ۶۶۴۱۰۳۵۴
دفتر انتشارات : تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردبیهشت - بین لیاپی نژاد و جمهوری - ساختمان ۱۰
تلفن: ۶۶۴۶۵۸۳۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۸۲۲۲۱

ایمیل و وبسایت: www.fadakbook.ir - info@fadakbook.ir

کلیه حقوق و حق چاپ متن و عنوان کتاب که به ثبت رسیده است؛ مطابق با قانون حقوق مولفان و مصنفان مصوب ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به انتشارات دانش بنیاد می‌باشد. هرگونه برداشت، تکثیر، کپی برداری به هر شکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات دانش بنیاد ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی
انتشارات دانش بنیاد

سمبل‌ها، علامات و اختصارات

توضیحات	سمبل‌ها
فرکانس دیجیتال	ω
فرکانس آنالوگ	Ω
کانولوشن خطی	*
کانولوشن دایروی	\oplus
تبدیل	T
تبدیل فوریه	F
تبدیل معکوس فوریه	F^{-1}
تبدیل Z	Z
تبدیل معکوس Z	Z^{-1}
نشانگر زوج تبدیل	\leftrightarrow
سیگنال زمانی	$x(n)$
دنباله معکوس زمانی	$x(-n)$
سیگنال تبدیل شده	$X(s), X(\omega) \text{ or } X(z)$
دامنه کمیت مختلط a قدر مطلق a	$ a $
اگر a حقیقی باشد	
دنباله نمونه واحد	$\delta(n)$
دنباله پله واحد	$u(n)$
دنباله شیب واحد	$r(n)$
دنباله سهموی واحد	$p(n)$
هرتز	Hz
دنباله تبدیل فوریه گسسته	$X(k)$
توان متوسط	P
انرژی کل	E
پاسخ ضربه	$h(n)$
تابع انتقال	$H(s), H(\omega), H(z)$
ضریب پخش	W_N
خودهمبستگی $x(n)$	$R_{xx}(n)$
همبستگی متقابل $x(n)$ و $y(n)$	$R_{xy}(n)$

ضریب درون گزینی	D
ضریب درون یابی	I
دنباله پنجره	$w(n)$
فرکانس قطع دیجیتال	ω_c
فرکانس قطع آنالوگ	Ω_c
فرکانس لبه باند عبور	ω_1
فرکانس لبه باند توقف	ω_2
پاسخ فرکانس مطلوب	$H_d(\omega)$
پاسخ ضربه مطلوب	$h_d(n)$

اختصارات

پردازش سیگنال دیجیتال	DSP
خطی تغییرناپذیر با زمان	LTI
خطی تغییرپذیر با زمان	LTV
	LSI
ورودی، کراندار، خروجی کراندار	BIBO
پاسخ ضربه محدود	FIR
پاسخ ضربه نامحدود	IIR
تبدیل فوریه گسسته	DFT
تبدیل فوریه گسسته معکوس	IDFT
تبدیل فوریه زمان گسسته	DTFT
تبدیل فوریه زمان گسسته معکوس	IDTFT
نقطه همگرایی	ROC
تبدیل فوریه زمان پیوسته	CTFT
سری فوریه گسسته	DFS
تبدیل فوریه سریع	FFT
تبدیل فوریه سریع معکوس	IFFT
درون گزینی در زمان	DIT
درون گزینی در فرکانس	DIF
پردازشگر سیگنال دیجیتال قابل برنامه‌ریزی	P-DSP

ضرب کننده- انبار کننده	MAC
واحد حساب منطقی	ALU
ورودی/ خروجی	I/O
کلمه دستور خیلی بلند	VLIW
مالتی پلکس با تقسیمات زمانی	TDM
کامپیوتر با مجموعه دستورات محدود	RISC
کامپیوتر با مجموعه دستورات پیچیده	CISC
واحد پردازش مرکزی	CPU
واحد منطقی موازی	PLU
واحد مرکزی حساب منطقی	CALU
واحد ثبات حساب کمکی	ARAU
شماره برنامه	PC
دسترسی مستقیم به حافظه	DMA
حلقه قفل فاز	PLL
زبان سطح بالا	HLL
آنالوگ به دیجیتال	A/D
دیجیتال به آنالوگ	D/A

پیش گفتار

کتاب حاضر که حاصل سی و هشت سال تجربه تدریس آقای آناندکومار است مبنای درس پردازش سیگنال دیجیتال را بطور ساده و روان مطرح کرده است. دلیل انتخاب این کتاب برای ترجمه، وجود تعداد زیادی مثال پس از طرح هر بخش از مطالب فصل است، که به درک بهتر مطلب توسط دانشجو کمک نموده و آنرا به صورت یک خودآموز در می آورد.

وجود مجموعه‌ای از سوالات و مسائل در پایان هر فصل دانشجو را در ارزیابی خود از میزان فراگیری مطلب کمک می‌نماید. پاسخ این سوالات و مسائل در پایان کتاب ارائه شده است. کتاب را می‌توان به عنوان مرجع برای درس پردازش سیگنال دیجیتال در طول یک ترم برای دانشجویان گرایش‌های مختلف مهندسی برق در مقاطع کارشناسی یا کارشناسی ارشد استفاده نمود.

کتاب در یازده فصل تنظیم شده است، که رئوس کلی مطالب آنها به شرح زیر است؛

- در فصل اول انواع مختلف سیگنال‌ها و سیستم‌های زمان گسسته، دسته‌بندی آنها و عملیات مختلف روی آنها تشریح شده است.
- فصل دوم به تشریح دو ابزار مهم ریاضی یعنی کرولیشن و کانولوشن و همچنین محاسبه کانولوشن خطی و تناوبی با روشهای مختلف پرداخته است.
- تبدیل Z به عنوان یک ابزار قدرتمند برای تجزیه و تحلیل سیستم‌های زمان گسسته در فصل سوم معرفی شده است.
- روش‌های مختلف پیاده‌سازی سیستم‌های زمان گسسته با استفاده از تابع انتقال داده شده آنها در فصل چهارم مورد بررسی قرار گرفته است.
- در فصل پنجم تبدیل فوریه زمان گسسته (DTFT) که روشی است برای نمایش یک سیگنال زمان گسسته در حوزه فرکانس و چگونگی استفاده از آن برای تجزیه و تحلیل سیگنال‌ها مورد بحث قرار گرفته است.
- سری فوریه گسسته (DFS) روشی است برای نمایش یک سیگنال زمان گسسته تناوبی و تبدیل فوریه گسسته (DFT) که نسخه نمونه برداری شده DTFT است در فصل ششم مورد بحث قرار گرفته‌اند.
- تبدیل فوریه سریع (FFT) که روش کارآمدی برای محاسبه DFT است در فصل هفتم مورد بحث قرار گرفته است. ایده اصلی این الگوریتم بر ضرب المثل قدیمی تفرقه بینداز و حکومت کن مبتنی است و با دو روش درون‌گزینی در حوزه زمان (DIT) و درون‌گزینی در حوزه فرکانس (DIF) انجام می‌شود.
- فیلتر، شبکه‌ای فرکانس‌گزین است و به دو نوع فیلتر با پاسخ ضربه محدود (FIR) و فیلتر با پاسخ ضربه نامحدود (IIR) تقسیم می‌شود، روش‌های مختلف طراحی آنها در فصل‌های هشتم و نهم مورد بحث قرار گرفته است.

- سیستم‌های گسسته‌ای که داده را با بیش از یک نرخ نمونه‌برداری پردازش می‌کنند سیستم‌های چند نرخ نام دارند. جنبه‌های مختلف طراحی این سیستم‌ها در فصل دهم ارائه شده است.
 - ریز پردازنده‌های تخصصی برای اجرای الگوریتم‌های پردازش سیگنال که با نام پردازشگرهای سیگنال دیجیتال قابل برنامه‌ریزی (P-DSP) شناخته می‌شوند، انواع، مزایا و معماری آنها در فصل یازدهم بررسی شده است.
- با آرزوی اینکه متن حاضر برای مخاطبین محترم مفید واقع شود از کاستی‌های احتمالی در کار ترجمه پوزش خواسته و از هرگونه نقد و پیشنهاد سازنده استقبال و پیشاپیش تشکر می‌نمایم.

محمد اسماعیل کلانتری

تهران - بهمن ماه ۱۳۹۴

فهرست مطالب

سیگنال‌ها و سیستم‌های زمان گسسته		فصل ۱
معرفی	۲	۱.۱
نمایش سیگنال‌های زمان گسسته	۳	۲.۱
نمایش ترسیمی	۱.۲.۱	۴
نمایش تابعی	۲.۲.۱	۴
نمایش جدولی	۳.۲.۱	۴
نمایش دنباله‌ای	۴.۲.۱	۵
سیگنال‌های زمان گسسته پایه	۵	۳.۱
دنباله پله واحد	۱.۳.۱	۶
دنباله شیب واحد	۲.۳.۱	۶
دنباله سهموی واحد	۳.۳.۱	۷
تابع ضربه واحد یا دنباله تک نمونه	۴.۳.۱	۸
دنباله سینوسی	۵.۳.۱	۸
دنباله نمائی حقیقی	۶.۳.۱	۹
دنباله نمائی مختلط	۷.۳.۱	۹
عملیات پایه روی دنباله‌ها	۱۲	۴.۱
جابجایی زمانی	۱.۴.۱	۱۲
معکوس کردن زمانی	۲.۴.۱	۱۳
مقیاس کردن دامنه	۳.۴.۱	۱۵
مقیاس کردن زمانی	۴.۴.۱	۱۵
جمع کردن سیگنالها	۵.۴.۱	۱۶
ضرب سیگنالها	۶.۴.۱	۱۷
دسته‌بندی سیگنال‌های زمان گسسته	۱۸	۵.۱
سیگنالهای معین و تصادفی	۱.۵.۱	۱۸
دنباله‌های تناوبی و غیرتناوبی	۲.۵.۱	۱۹

۳.۵.۱	سیگنال‌های انرژی و توان	۲۵
۴.۵.۱	سیگنال‌های علی و غیرعلی	۲۹
۵.۵.۱	سیگنال‌های فرد و زوج	۳۰
۶.۱	دسته‌بندی سیستم‌های زمان گسسته	۳۴
۱.۶.۱	سیستم‌های ایستا و پویا (با حافظه و بدون حافظه)	۳۵
۲.۶.۱	سیستم‌های علی و غیرعلی	۳۶
۳.۶.۱	سیستم‌های خطی و غیرخطی	۳۷
۴.۶.۱	سیستم‌های تغییرناپذیر با جابجایی و سیستم‌های تغییرپذیر با جابجایی	۴۱
۵.۶.۱	سیستم‌های پایدار و ناپایدار	۵۰
۶.۶.۱	سیستم‌های با پاسخ ضربه محدود (FIR) و پاسخ ضربه نامحدود (IIR)	۶۸
۷.۶.۱	سیستم‌های معکوس‌پذیر و غیرمعکوس‌پذیر	۶۸
۷.۱	نمایش یک دنباله دلخواه	۶۹

فصل ۲ درهم‌آمیزی و همبستگی گسسته ۹۷

۱.۲	مقدمه	۹۸
۲.۲	پاسخ ضربه و جمع کانولوشن	۹۸
۳.۲	محاسبه تحلیلی کانولوشن گسسته	۹۹
۴.۲	کانولوشن دنباله‌های با طول محدود	۱۰۷
۵.۲	روش‌های محاسبه جمع کانولوشن دو دنباله $x(n)$ و $h(n)$	۱۰۷
۱.۵.۲	روش ۱ کانولوشن خطی با استفاده از روش ترسیمی	۱۰۷
۲.۵.۲	روش ۲ کانولوشن خطی با استفاده از آرایه جدولی	۱۰۷
۳.۵.۲	روش ۳ کانولوشن خطی با استفاده از روش جدولی	۱۰۸
۴.۵.۲	روش ۴ کانولوشن خطی با استفاده از ماتریس	۱۰۸
۵.۵.۲	روش ۵ کانولوشن خطی با استفاده از روش جمع ستونی	۱۰۹
۶.۵.۲	روش ۶ کانولوشن خطی با استفاده از معکوس کردن، جابجایی، ضرب و جمع	۱۰۹
۶.۲	واکانولوشن یا کانولوشن معکوس	۱۲۸
۱.۶.۲	واکانولوشن با استفاده از تبدیل Z	۱۲۸
۲.۶.۲	واکانولوشن با روش بازگشتی	۱۲۹
۳.۶.۲	واکانولوشن با استفاده از روش جدولی	۱۳۱
۷.۲	به هم بستن سیستم‌های خطی و تغییرناپذیر با زمان (LTI)	۱۳۲
۱.۷.۲	اتصال موازی سیستم‌ها	۱۳۲

۲.۷.۲	اتصال متوالی سیستم‌ها	۱۳۳
۸.۲	جابجائی دایروی و تقارن دایروی	۱۳۶
۹.۲	کانولوشن دایروی یا تناوبی	۱۳۹
۱۰.۲	روش‌های انجام کانولوشن دایروی یا تناوبی	۱۳۹
۱.۱۰.۲	روش ۱ روش ترسیمی (روش دوایر هم‌مرکز)	۱۴۰
۲.۱۰.۲	روش ۲ کانولوشن دایروی با استفاده از آرایه جدولی	۱۴۰
۳.۱۰.۲	روش ۳ کانولوشن دایروی با استفاده از ماتریس	۱۴۱
۱۱.۲	تعیین کانولوشن خطی (معمولی) از کانولوشن تناوبی	۱۵۱
۱۲.۲	تعیین کانولوشن تناوبی از روی کانولوشن خطی	۱۵۳
۱۳.۲	توسعه تناوبی سیگنال‌های غیرتناوبی	۱۵۶
۱۴.۲	پاسخ سیستم به ورودی‌های تناوبی	۱۵۷
۱۵.۲	همبستگی گسسته	۱۶۰
۱.۱۵.۲	همبستگی متقابل	۱۶۰
۲.۱۵.۲	خودهمبستگی	۱۶۱
۳.۱۵.۲	محاسبه همبستگی	۱۶۲
۴.۱۵.۲	همبستگی سیگنال‌های توان و سیگنال‌های تناوبی	۱۶۳
۱۶.۲	همبستگی گسسته تناوبی	۱۶۶

فصل ۳ تبدیل Z ۱۸۵

۱.۳	مقدمه	۱۸۶
۱.۱.۳	مزایای تبدیل Z	۱۸۶
۲.۳	رابطه بین تبدیل فوریه زمان گسسته (DTFT) و تبدیل Z	۱۸۷
۳.۳	تبدیل Z و منطقه همگرایی برای دنباله‌های با زمان دوام محدود	۱۹۲
۱.۳.۳	دنباله‌های راست جهت	۱۹۲
۲.۳.۳	دنباله چپ جهت	۱۹۳
۳.۳.۳	دنباله دو جهته	۱۹۴
۴.۳	خصوصیات منطقه همگرایی	۱۹۶
۵.۳	خصوصیات تبدیل Z	۱۹۷
۱.۵.۳	خصوصیت خطی بودن	۱۹۷
۲.۵.۳	خصوصیت جابجائی زمانی	۱۹۸
۳.۵.۳	خصوصیت ضرب با یک دنباله نمائی	۱۹۹
۴.۵.۳	خصوصیت معکوس نمودن زمانی	۲۰۰

۵.۵.۳	خصوصیت توسعه زمانی ۲۰۰	
۶.۵.۳	خصوصیت ضرب در n یا مشتق گرفتن در حوزه Z ۲۰۱	
۷.۵.۳	خصوصیت کانولوشن ۲۰۲	
۸.۵.۳	خصوصیت ضرب کردن یا خصوصیت کانولوشن مختلط ۲۰۳	
۹.۵.۳	خصوصیت همبستگی ۲۰۳	
۱۰.۵.۳	خصوصیت یا رابطه یا قضیه پارسوال ۲۰۴	
۱۱.۵.۳	قضیه مقدار اولیه ۲۰۵	
۱۲.۵.۳	قضیه مقدار نهائی ۲۰۶	
۶.۳	تبدیل Z معکوس ۲۱۸	
۱.۶.۳	روش تقسیم متوالی ۲۲۰	
۲.۶.۳	روش بسط کسرهای جزئی ۲۲۸	
۳.۶.۳	روش باقیمانده ۲۳۴	
۴.۶.۳	روش کانولوشن ۲۳۷	
۷.۳	تجزیه و تحلیل سیستم‌های LTI با استفاده از تبدیل Z ۲۳۹	
۱.۷.۳	تابع سیستم و پاسخ ضربه ۲۳۹	
۲.۷.۳	رابطه بین تابع انتقال و معادله تفاضلی ۲۴۰	
۸.۳	پایداری و علی بودن ۲۴۱	
۹.۳	حل معادلات تفاضلی با استفاده از تبدیل Z ۲۵۶	
۱۰.۳	واکانولوشن با استفاده از تبدیل Z ۲۶۸	
۱۱.۳	رابطه بین صفحه S و صفحه Z ۲۷۰	

فصل ۴ پیاده‌سازی سیستم ۲۸۷

۱.۴	مقدمه ۲۸۸
۲.۴	پیاده‌سازی سیستم‌های زمان گسسته ۲۸۸
۳.۴	ساختارهای مورد استفاده برای پیاده‌سازی سیستم‌های IIR ۲۹۰
۱.۳.۴	ساختار فرم مستقیم I ۲۹۲
۲.۳.۴	ساختار فرم مستقیم II ۲۹۳
۳.۳.۴	پیاده‌سازی سیستم‌های IIR با ساختار فرم ترانهاده ۲۹۷
۴.۳.۴	پیاده‌سازی به فرم متوالی ۲۹۸
۵.۳.۴	پیاده‌سازی به فرم موازی ۳۰۰
۶.۳.۴	پیاده‌سازی سیستم‌های IIR با ساختار شبکه ۳۰۰
۷.۳.۴	پیاده‌سازی سیستم‌های IIR با ساختار نردبانی ۳۰۴

۳۳۳	FIR سیستم‌های	۴.۴
۳۳۵	پیاپیاده‌سازی فرم مستقیم برای سیستم FIR	۱.۴.۴
۳۳۶	پیاپیاده‌سازی ساختار فرم ترانهاده برای سیستم FIR	۲.۴.۴
۳۳۷	پیاپیاده‌سازی ساختار فرم متوالی برای سیستم FIR	۳.۴.۴
۳۳۸	پیاپیاده‌سازی سیستم‌های FIR با ساختار مشبکه	۴.۴.۴
۳۴۱	پیاپیاده‌سازی فاز خطی	۵.۴.۴

فصل ۵ تبدیل فوریه زمان گسسته ۳۶۵

۳۶۶	مقدمه	۱.۵
۳۶۶	تبدیل فوریه زمان گسسته (DTFT)	۲.۵
۳۶۶	موجود بودن DTFT	۳.۵
۳۶۷	رابطه بین تبدیل Z و تبدیل فوریه	۴.۵
۳۷۵	تبدیل فوریه زمان گسسته معکوس	۵.۵
۳۷۷	خصوصیات تبدیل فوریه زمان گسسته	۶.۵
۳۷۷	خصوصیت خطی بودن	۱.۶.۵
۳۷۸	خصوصیت تناوبی بودن	۲.۶.۵
۳۷۸	خصوصیت جابجائی زمانی	۳.۶.۵
۳۷۸	خصوصیت تغییر فرکانس	۴.۶.۵
۳۷۹	خصوصیت معکوس شدن زمان	۵.۶.۵
۳۷۹	خصوصیت مشتق گرفتن در حوزه فرکانس	۶.۶.۵
۳۸۰	خصوصیت کانولوشن در حوزه زمان	۷.۶.۵
۳۸۰	خصوصیت کانولوشن در حوزه فرکانس	۸.۶.۵
۳۸۱	قضیه همبستگی	۹.۶.۵
۳۸۱	قضیه مدولاسیون	۱۰.۶.۵
۳۸۲	قضیه پارسوال	۱۱.۶.۵
۳۸۲	خصوصیت تقارن	۱۲.۶.۵
۳۹۱	تابع انتقال	۷.۵
۳۹۲	پاسخ فرکانسی سیستم‌های زمان گسسته	۸.۵

فصل ۶ سری فوریه گسسته (DFS) و تبدیل فوریه گسسته (DFT) ۴۲۳

۴۲۴	مقدمه	۱.۶
-----	-------	-----

	۴۲۵	سری فوریه گسسته	۲.۶
	۴۲۵	فرم نمائی سری فوریه گسسته	۱.۲.۶
	۴۲۶	فرم مثلثاتی سری فوریه	۲.۲.۶
۴۲۷		روابط بین صورت‌های نمائی و مثلثاتی سری فوریه گسسته	۳.۲.۶
	۴۳۰	خصوصیات سری فوریه گسسته (DFS)	۳.۶
	۴۳۰	خطی بودن	۱.۳.۶
	۴۳۰	جابجائی زمانی	۲.۳.۶
	۴۳۱	خصوصیت تقارن	۳.۳.۶
	۴۳۱	کانولوشن تناوبی	۴.۳.۶
	۴۳۱	رابطه بین DFT و تبدیل Z	۴.۶
۴۳۸		مقایسه بین تبدیل فوریه گسسته (DFT) و تبدیل فوریه زمان گسسته (DTFT)	۵.۶
	۴۳۸	یک روش اندکی سریع‌تر برای محاسبه مقادیر DFT	۶.۶
	۴۴۰	استفاده از ماتریس در فرمول‌های DFT و IDFT	۷.۶
	۴۴۰	فرم ماتریسی IDFT	۸.۶
	۴۴۱۰	استفاده از DFT برای یافتن IDFT	۹.۶
	۴۴۳	خصوصیات DFT	۱۰.۶
	۴۴۳	تناوبی بودن	۱.۱۰.۶
	۴۴۴	خطی بودن	۲.۱۰.۶
	۴۴۴	DFT دنباله‌های فرد و زوج	۳.۱۰.۶
	۴۴۵	معکوس کردن زمانی دنباله	۴.۱۰.۶
	۴۴۵	جابجائی فرکانس دایروی	۵.۱۰.۶
	۴۴۶	خصوصیت مزدوج مختلط	۶.۱۰.۶
۴۴۶		DFT دنباله تاخیریافته (جابجائی زمانی دایروی یک دنباله)	۷.۱۰.۶
	۴۴۷	DFT یک دنباله حقیقی	۸.۱۰.۶
	۴۴۷	ضرب دو دنباله	۹.۱۰.۶
	۴۴۸	کانولوشن دایروی دو دنباله	۱۰.۱۰.۶
	۴۴۹	قضیه پارسوال	۱۱.۱۰.۶
	۴۵۰	همبستگی دایروی	۱۲.۱۰.۶
	۴۵۶	روش‌های انجام کانولوشن خطی	۱۱.۶
	۴۵۶	کانولوشن خطی با استفاده از DFT	۱.۱۱.۶
	۴۶۱	روش‌های انجام کانولوشن دایروی	۱۲.۶
۴۶۱		کانولوشن دایروی با استفاده از DFT و IDFT	۱.۱۲.۶
	۴۶۵	کانولوشن دنباله‌های طولانی (کانولوشن‌های قطعه‌ای)	۱۳.۶

- ۱.۱۳.۶ روش همپوشانی - جمع ۴۶۵
 ۲.۱۳.۶ روش همپوشانی - ذخیره ۴۶۶

فصل ۷ تبدیل فوریه سریع ۴۹۵

- ۱.۷ مقدمه ۴۹۶
 ۲.۷ تبدیل فوریه سریع ۳۹۶
 ۳.۷ FFT پایه دو با درون گزینی در زمان (DIT) ۴۹۷
 ۴.۷ DFT ۸ نقطه‌ای با استفاده از DITFFT پایه ۲ ۵۰۲
 ۱.۴.۷ دیاگرام پروانه‌ای ۵۰۵
 ۵.۷ FFT پایه ۲ درون گزینی در فرکانس (DIF) ۵۰۶
 ۶.۷ DFT ۸ نقطه‌ای با استفاده از DIFFFT پایه ۲ ۵۰۹
 ۱.۶.۷ محاسبه IDFT از طریق FFT ۵۱۴
 ۷.۷ الگوریتم‌های FFT برای یک عدد مرکب N ۵۳۵
 ۱.۷.۷ FFT پایه ۳ ۵۳۶
 ۲.۷.۷ FFT پایه ۴ ۵۳۶

فصل ۸ فیلترهای دارای پاسخ ضربه با زمان دوام نامحدود (IIR) ۵۶۱

- ۱.۸ مقدمه ۵۶۲
 ۲.۸ نیازمندی‌های تبدیل ۵۶۲
 ۳.۸ طراحی فیلتر IIR با تقریب مشتق‌ها ۵۶۴
 ۴.۸ طراحی فیلتر IIR یا تبدیل بدون تغییر پاسخ ضربه ۵۶۸
 ۵.۸ طراحی فیلتر IIR با روش تبدیل دو خطی ۵۷۵
 ۶.۸ مشخصات فیلتر پائین‌گذر ۵۸۳
 ۷.۸ طراحی فیلتر پائین‌گذر دیجیتال با ترورت ۵۸۵
 ۸.۸ طراحی فیلتر پائین‌گذر چبی شف ۶۰۶
 ۹.۸ فیلترهای معکوس چبی شف ۶۲۳
 ۱۰.۸ فیلترهای بیضوی ۶۲۴
 ۱۱.۸ تبدیل فرکانسی ۶۲۵
 ۱.۱۱.۸ تبدیل فرکانسی آنالوگ ۶۲۶
 ۲.۱۱.۸ تبدیل فرکانسی دیجیتال ۶۲۷

فصل ۹ فیلترهای با پاسخ ضربه محدود (FIR) ۶۵۷

مقدمه ۶۵۸	۱.۹
مشخصات فیلترهای FIR با فاز خطی ۶۵۸	۲.۹
پاسخ فرکانسی فیلترهای FIR فاز خطی ۶۶۳	۳.۹
پاسخ فرکانسی فیلتر FIR فاز خطی وقتی پاسخ ضربه متقارن و N فرد است ۶۶۳	۱.۳.۹
پاسخ فرکانسی فیلتر FIR فاز خطی وقتی پاسخ ضربه متقارن و N زوج است ۶۶۶	۲.۳.۹
پاسخ فرکانسی فیلتر FIR فاز خطی وقتی که پاسخ ضربه پادمقارن و N فرد است ۶۶۸	۳.۳.۹
پاسخ فرکانسی فیلتر FIR خطی وقتی پاسخ ضربه پادمقارن و N زوج است ۶۷۱	۴.۳.۹
تکنیک‌های طراحی فیلترهای FIR ۶۷۴	۴.۹
طراحی فیلترهای FIR با روش سری فوریه ۶۷۵	۵.۹
طراحی فیلتر FIR با استفاده از پنجره ۶۸۱	۶.۹
پنجره مربعی ۶۸۱	۱.۶.۹
پنجره مثلثی یا بارتلت ۶۸۴	۲.۶.۹
پنجره کسینوس برآمده ۶۸۵	۳.۶.۹
پنجره هنینگ ۶۸۵	۴.۶.۹
پنجره همینگ ۶۸۶	۵.۶.۹
پنجره بلکمن ۶۸۶	۶.۶.۹
پنجره کایزر ۷۰۴	۷.۶.۹
طراحی فیلترهای FIR با روش نمونه‌برداری فرکانسی ۷۱۴	۷.۹

فصل ۱۰ پردازش چند نرخ سیگنال دیجیتال ۷۴۹

مقدمه ۷۵۰	۱.۱۰
نمونه‌برداری ۷۵۰	۲.۱۰
کندنمونه‌برداری ۷۵۱	۳.۱۰
تندنمونه‌برداری ۷۵۵	۴.۱۰
تبدیل نرخ نمونه‌برداری ۷۶۶	۵.۱۰
تساوی‌ها ۷۷۱	۶.۱۰

تجزیه چندفازی	۷۷۳	۷.۱۰
ساختار عمومی چندفازی برای درون‌گزین‌ها و درون‌یاب‌ها	۷۷۵	۸.۱۰
درون‌یاب‌ها و درون‌گزین‌های چندطبقه	۷۷۷	۹.۱۰
ساختار عرضی کارآمد برای درون‌گزین	۷۸۰	۱۰.۱۰
ساختار عرضی کارآمد برای درون‌یاب	۷۸۱	۱۱.۱۰
ساختارهای IIR برای درون‌گزین‌ها	۷۸۲	۱۲.۱۰
طراحی فیلتر برای درون‌گزین‌ها و درون‌یاب‌های FIR	۷۸۴	۱۳.۱۰
طراحی فیلتر برای درون‌یاب‌ها و درون‌گزین‌های IIR	۷۸۵	۱۴.۱۰
کاربردهای پردازش سیگنال چندنرخ	۷۹۴	۱۵.۱۰

فصل ۱۱ مقدمه‌ای بر پردازشگرهای DSP ۸۱۵

مقدمه‌ای بر DSPهای قابل برنامه‌ریزی	۸۱۶	۱.۱۱
مزایای پردازشگرهای DSP نسبت به ریزپردازنده‌های سنتی	۸۱۶	۲.۱۱
ضرب‌کننده و ضرب‌کننده انباره (MAC)	۸۱۷	۳.۱۱
ساختار باس تغییر یافته و ترتیبات دستیابی به حافظه در DSP-Pها	۸۱۸	۴.۱۱
حافظه با دسترسی چندگانه و حافظه با چندین درگاه	۸۲۰	۵.۱۱
معماری با کلمه دستور خیلی بلند VLIW	۸۲۰	۶.۱۱
لوله‌گذاری	۸۲۱	۷.۱۱
مدهای آدرس‌دهی خاص در DSPهای قابل برنامه‌ریزی	۸۲۲	۸.۱۱
افزاره‌های جانبی روی تراشه	۸۲۴	۹.۱۱
۱.۹.۱۱ زمان سنج روی تراشه	۸۲۴	
۲.۹.۱۱ درگاه سری	۸۲۴	
۳.۹.۱۱ درگاه سری TDM	۸۲۵	
۴.۹.۱۱ درگاه موازی	۸۲۵	
۵.۹.۱۱ درگاه I/O بیت	۸۲۵	
۶.۹.۱۱ درگاه میزبان	۸۲۵	
۷.۹.۱۱ درگاه مشترک	۸۲۵	
۸.۹.۱۱ مبدل‌های A/D و D/A روی تراشه	۸۲۵	
DSPهای قابل برنامه‌ریزی با پردازشگر RISC و SISC	۸۲۵	۱۰.۱۱
۱.۱۰.۱۱ مزایای پردازشگرهای از نوع کامپیوتر با مجموعه دستورات محدود (RISC)	۸۲۶	

۲.۱۰.۱۱	مزایای پردازنده‌های از نوع کامپیوتر با مجموعه دستورات پیچیده	
	(CISC) ۸۲۶	
۱۱.۱۱	معماری TMS320C50 ۸۲۷	
۱۲.۱۱	ساختار باس ۸۲۸	
۱۳.۱۱	واحد پردازش مرکزی ۸۲۸	
۱.۱۳.۱۱	واحد مرکزی حساب منطقی (CALU) ۸۲۸	
۲.۱۳.۱۱	واحد منطقی موازی (PLU) ۸۲۹	
۳.۱۳.۱۱	واحد ثبات کمکی حساب (ARAU) ۸۲۹	
۴.۱۳.۱۱	ثبات‌های نگاشته به حافظه ۸۳۰	
۵.۱۳.۱۱	کنترل‌کننده برنامه ۸۳۱	
۱۴.۱۱	برخی از پرچم‌ها در ثبات‌های وضعیت ۸۳۱	
۱۵.۱۱	حافظه روی تراشه ۸۳۳	
۱۶.۱۱	عناصر جانبی روی تراشه ۸۳۳	
۱.۱۶.۱۱	مولد ساعت ۸۳۳	
۲.۱۶.۱۱	زمان سنج سخت‌افزاری ۸۳۴	
۳.۱۶.۱۱	مولدهای حالت انتظار قابل برنامه‌ریزی نرم‌افزاری ۸۳۴	
۴.۱۶.۱۱	پایه‌های I/O با کاربرد عمومی ۸۳۴	
۵.۱۶.۱۱	درگاه‌های I/O موازی ۸۳۴	
۶.۱۶.۱۱	واسط درگاه سری ۸۳۵	
۷.۱۶.۱۱	درگاه سری بافرشده (BSP) ۸۳۵	
۸.۱۶.۱۱	درگاه سری TDM ۸۳۵	
۹.۱۶.۱۱	واسط درگاه میزبان ۸۳۵	
۱۷.۱۱	توقف‌های قابل اختفاء توسط کاربر ۸۳۶	
۱.۱۷.۱۱	برخی انواع توقف پشتیبانی شده توسط پردازشگر TMS320C5X ۸۳۶	
۱۸.۱۱	عناصر جانبی موجود روی تراشه پردازشگر TMS320C3X ۸۳۶	

شرح واژه‌ها ۸۵۷

پاسخ‌ها ۸۸۷