

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

مخبرات دیکھتیاں

(ویراست پنجم)

مخابرات دیجيتال

جان جي. پروكيس

مسعود صالحى

دكتور محمد اسماعيل كالانترى

(عضو هيأت علمى دانشگاه)



سڊڪا ايسٽائيس

سرشناسه	: پروکیس، جان - Proakis, John G.
عنوان و نام پدیدآور	: مخابرات دیجیتال/ جان جی. پروکیس، مسعود صالحی؛ [ترجمه] محمداسماعیل کلاتری.
مشخصات نشر	: تهران: فدک ایساتیس، ۱۳۸۹.
مشخصات ظاهری	: ۱۱۷۶ ص.: نمودار؛ ۲۱×۲۱ س.م.
شابک	: ۲۵۰۰۰۰ ریال : ۱ - ۰۰۸ - ۱۶۰ - ۶۰۰ - ۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی Digital communications, 5th ed, 2008
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: ارتباطات رقمی
شناسه افزوده	: صالحی، مسعود
شناسه افزوده	: Salehi Masoud
شناسه افزوده	: کلاتری، محمداسماعیل، ۱۳۲۶-، مترجم
رده بندی کنگره	: ۱۳۸۹ م۳ پ/۴/۷/TK۵۱۰۲
رده بندی دیویی:	: ۶۲۱/۳۸۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۰۹۷۰۹۵



مخابرات دیجیتال

ترجمه	: دکتر محمداسماعیل کلاتری
مدیر تولید	: مجیدرضا زرویی
حروفچینی و صفحه آرایی	: واحد تولید انتشارات فدک ایساتیس
نوبت چاپ	: اول - بهمن ۱۳۸۹
تیراژ	: ۱۴۰۰
لیتوگرافی	: مهران نگار
چاپ	: گلشن
صحافی	: گلستان
قیمت	: ۲۵۰۰۰۰ ریال
شابک	: ۱ - ۰۰۸ - ۱۶۰ - ۶۰۰ - ۹۷۸

دفتر انتشارات : تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت - بین لبافی نژاد و جمهوری - ساختمان ۱۰ (۱۲۶ قدیم)
 تلفن: ۶۶۴۶۵۸۳۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۸۲۲۲۱
 نمایندگی تهران : خیابان انقلاب - نبش ۱۲ فروردین - پلاک ۱۳۱۲ - انتشارات صانعی
 تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵
 نمایندگی یزد: میدان آزادی (باغ ملی) - ابتدای خیابان فرخی - جنب مجتمع ستاره
 تلفن: ۶۲۲۷۴۷۵ - ۶۲۲۶۷۷۱ - ۶۲۲۶۷۷۲
www.fadakbook.ir - Email: fadakbook@yahoo.com

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 فدک ایساتیس می باشد. هرگونه برداشت، تکثیر، کپی برداری به هر شکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات فدک ایساتیس ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی
 انتشارات فدک ایساتیس

مقدمه مترجم

خداوند را شاکرم که توفیق انجام این کار را عطا نمود. آنان که دستی بر آتش دارند با مشکلات آن آشنایی دارند. کار ترجمه با ویرایش چهارم کتاب آغاز شد و در سه ماهه یک تابستان به انجام رسید. نوبت به فرآیند چاپ که رسید کار آنقدر طول کشید تا ویرایش پنجم کتاب به بازار آمد. در ویرایش جدید ساختار کتاب دستخوش تغییرات اساسی شده بود و لذا به هنگام نمودن متن سابق تقریباً به اندازه‌ی یک ترجمه‌ی جدید زمان لازم داشت. به هر صورت این کار نیز در تابستانی دیگر به انجام رسید و یکبار دیگر مراحل چاپ آغاز و امید می‌رود که به زودی محقق شود. بد نیست بدانید که کار ترجمه در مجموع شش ماه و فرآیند یافتن ناشر برای چاپ حدوداً شش سال به طول انجامید. هر چند که آسیب‌شناسی این مشکل مثنوی را هفتادمن کاغذ کند، ولی دلیل اصلی آن است که در این بازار مکاره هر کالایی بیشتر از این نوع محصولات خریدار دارد.

علی‌رغم تلاش‌های زیاد انجام گرفته هنوز کمبود شدید لغات معادل محسوس است. همین مشکلات تا حدی توجه‌کننده اشکالاتی است که متن حاضر خالی از آن نبوده و اغماض خوانندگان عزیز را طلب می‌کند. در پایان ضمن پوزش از خوانندگان محترم به خاطر کاستی‌های موجود و آرزوی مفید بودن کتاب برای آنها، از مدیریت انتشارات فدک ایساتیس جناب آقای مجیدرضا زروئی نصرآباد که زحمت چاپ و نشر کتاب را تقبل نمودند و سایر کارکنان انتشارات به ویژه جناب آقای مهندس رضا کرمی‌شاهنده مدیریت تولید انتشارات به خاطر تلاش وافرشان در راه تهیه ویرایش نهایی تشکر و قدردانی می‌نمایم.

محمداسماعیل کلانتری

زمستان ۸۹

مقدمه مؤلف

خوش آمدگویی به پروفیسور مسعود صالحی به عنوان همکار مؤلف در ویرایش پنجم کتاب مخابرات دیجیتال مایه‌ی مسرت است. در ویرایش جدید کتاب مورد بازنگری اساسی و سازماندهی مجدد سرفصل‌ها خصوصاً در زمینه کدگذاری و کدبرداری کانال قرار گرفته است. این کتاب به عنوان یک کتاب درسی برای دانشجویان سال اول کارشناسی ارشد مهندسی برق طراحی شده است. همچنین می‌تواند برای مطالعه‌ی شخصی و یا به عنوان یک کتاب مرجع مورد استفاده مهندسین درگیر در فعالیت‌های طراحی و تجزیه و تحلیل سیستم‌های مخابراتی دیجیتال قرار گیرد. به عنوان پیش‌زمینه، فرض ما براین است که خواننده شناخت خوبی از حسابان پایه و نظریه‌ی مقدماتی سیستم‌ها و آگاهی قبلی از احتمالات و فرآیندهای تصادفی دارد.

فصل اول

مقدمه‌ای است برای ورود به موضوع شامل دورنمای تاریخی و تشریح مشخصات و مدل‌های کانال.

فصل دوم

دربرگیرنده‌ی مروری است بر تجزیه و تحلیل سیگنال‌های معین و تصادفی، شامل نمایش سیگنال‌های پایین‌گذر و میان‌گذر، کران‌های احتمالات دنباله‌ی متغیرهای تصادفی، نظریه‌های حدی مجموع متغیرهای تصادفی و فرآیندهای تصادفی.

فصل سوم

به بررسی روش‌های مدوله‌سازی دیجیتال و طیف توان سیگنال‌های مدوله‌شده دیجیتال می‌پردازد.

فصل چهارم

متمرکز است بر گیرنده‌های بهینه برای کانال‌های با نویز تجمعی سفید گوسی (AWGN) و عملکرد نرخ خطای آنها، همچنین این فصل شامل مقدمه‌ای است بر شبکه‌ها و منظومه‌های سیگنال مبتنی بر شبکه و همین‌طور تجزیه و تحلیل بودجه پیوند برای سیستم‌های مخابراتی باسیم و بی‌سیم.

فصل پنجم

به روش‌های تخمین فاز حامل و همزمانی ساعت مبتنی بر معیار حداکثر تشابه اختصاص یافته است. روش‌های تصمیم‌گرا و غیرتصمیم‌گرا هر دو تشریح شده‌اند.

فصل ششم

به معرفی سرفصل‌های چندی در نظریه‌ی اطلاعات شامل کدگذاری بدون تلف منبع، فشرده‌سازی با تلف داده، ظرفیت برای مدل‌های مختلف کانال و تابع قابلیت اطمینان کانال می‌پردازد.

فصل هفتم

کدهای بلوکی خطی و خصوصیات آنها را بررسی می‌کند. این بررسی کدهای دوری، کدهای BCH، کدهای رید - سولمون و کدهای رشته‌ای را شامل می‌شود. روش‌های کدبرداری سخت‌تصمیم و نرم‌تصمیم هردو تشریح و عملکرد آنها روی کانال‌های AWGN برآورد شده است.

فصل هشتم

به بررسی کدهای ترلیس و کدهای مبتنی بر گراف، شامل کدهای کانولوشنال، کدهای توربو، کدهای آزمون توازن کم‌چگال (LDPC)، کدهای ترلیس برای کانال‌های با محدودیت پهنای باند و کدهای مبتنی بر مشبکه می‌پردازد، الگوریتم‌های کدبرداری شامل الگوریتم ویتربی و عملکرد آن روی کانال‌های AWGN، الگوریتم کدبرداری تکراری BCJR برای کدهای توربو و الگوریتم جمع - ضرب نیز بررسی شده‌اند.

فصل نهم

متمرکز است بر مخابرات دیجیتال از طریق کانال‌های با پهنای باند محدود. سرفصل‌های بررسی شده در این فصل عبارتند از توصیف و طراحی سیگنال برای کانال‌های با پهنای باند محدود، گیرنده‌ی بهینه برای کانال‌های AWGN همراه با تداخل بین سمبلی، روش‌های همسان‌سازی زیربهینه شامل همسان‌سازی خطی، همسان‌سازی پس‌خور تصمیم و همسان‌سازی توربو.

فصل دهم

همسان‌سازی وقتی کانال را بررسی می‌کند. الگوریتم‌های LMS و حداقل مربعات بازگشتی همراه با مشخصات عملکردی آنها تشریح شده‌اند. این فصل بررسی الگوریتم‌های همسان‌سازی کور را نیز شامل می‌شود.

فصل یازدهم

به بررسی مدوله‌سازی چندحامله و چندکاناله می‌پردازد. سرفصل‌های بررسی شده عبارتند از عملکرد احتمال خطای سیگنال‌های دودویی و M سطحه متعامد در کانال‌های AWGN، ظرفیت یک کانال فیلتر خطی غیرایده‌ال با AWGN؛ مدوله‌سازی و وامدوله‌سازی OFDM؛ تخصیص بیت و توان در سیستم OFDM؛ و روش‌های کاهش نسبت توان قله به متوسط در OFDM.

فصل دوازدهم

بر سیستم‌ها و سیگنال‌های طیف گسترده با تأکید بر سیستم‌های طیف گسترده دنباله‌ی مستقیم و پرش فرکانسی و عملکرد آنها متمرکز است. در این فصل بر مزایای کدگذاری در طراحی سیگنال‌های طیف گسترده تأکید شده است.

فصل سیزدهم

مخابرات از طریق کانال با محوشدگی شامل توصیف این کانال‌ها و پارامترهای مهم و کلیدی گسترش چندمسیره و گسترش داپلر را بررسی می‌کند. چندین مدل آماری برای کانال محوشونده معرفی و بر محوشدگی رایلی، محوشدگی رایسی و محوشدگی ناکاگامی تأکید شده است. چگونگی تجزیه و تحلیل

تخریب عملکرد ناشی از گسترش داپلر در سیستم‌های OFDM ارائه و روش کاهش تخریب عملکرد تشریح شده است.

فصل چهاردهم

بر ظرفیت و طراحی کد برای کانال‌های محوشونده متمرکز است. پس از معرفی ظرفیت‌های ارگودیک و انقطاع، کدگذاری برای کانال‌های محوشونده مطالعه شده است. کدگذاری کارآمد از دیدگاه پهنای باند و مدوله‌سازی گذشته با درهم‌نهی بیت بررسی و عملکرد سیستم‌های گذشته در حضور محوشدگی رایلی و رایس محاسبه شده است.

فصل پانزدهم

به بررسی سیستم‌های چندآنتنه که عموماً سیستم‌های چند ورودی، چندخروجی (MIMO) نامیده شده و به منظور دستیابی به چندگانگی فضایی سیگنال و مالتی‌پلکس کردن فضایی طراحی می‌شوند، می‌پردازد. مطالب بررسی شده در این فصل الگوریتم‌های آشکارسازی برای کانال‌های MIMO، ظرفیت کانال‌های MIMO در حضور نویز AWGN با و بدون محوشدگی سیگنال و کدگذاری فضا-زمان را شامل می‌شود.

فصل شانزدهم

مخابرات چندکاربره شامل ظرفیت روش‌های دسترسی چندگانه، روش‌های آشکارسازی چندکاربره برای پیوند فراسو در سیستم‌های CDMA، مقابله با تداخل در کانال‌های پخش چندکاربره و روش‌های دستیابی تصادفی نظیر الوها و دستیابی چندگانه تشخیص حامل (CSMA) را بررسی می‌کند.

با شانزده فصل و موضوعات متنوع مدرس از قابلیت انعطاف لازم برای طراحی دروس یک یا دو ترمی برخوردار است.

فصل‌های ۳ و ۴ و ۵ بررسی پایه روش‌های مدوله‌سازی / وامدوله‌سازی و آشکارسازی دیجیتال را ارائه می‌کند.

کدگذاری و کدبرداری کانال بررسی شده در فصل‌های ۷ و ۸ و ۹ را می‌توان به موازات مدوله‌سازی و وامدوله‌سازی در درس یک ترمی ارائه نمود. به‌جای کدگذاری و کدبرداری کانال می‌توان فصل‌های ۹ تا ۱۲ را ارائه نمود. درس ترم دوم می‌تواند شامل سرفصل‌های مخابرات از طریق کانال‌های محوشونده و سیستم‌های چندآنتنه و مخابرات و چندکاربره باشد.

مؤلفین و مک گراهیل از مرورگران زیر و توصیه‌های آنها در مورد فصول انتخابی دست‌نویس ویرایش پنجم سپاسگزار است.

پل‌سالاما^۱ دانشگاه ایندیانا / دانشگاه پوردو ایندیانا پولیس و دیمیتریس هاتس - ایناکس^۲

دانشگاه تورنتو و اندر آیانگلو^۳ دانشگاه کالیفرنیا، ایروین

در پایان مؤلف اول علاقمند است که از کمک گلوریا دوکاکیس^۴ در تایپ بخش‌هایی از دست‌نویس تشکر نماید. همچنین از پاتریک آمی هود^۵ برای آماده‌سازی چندین نمودارهای در فصل‌های ۱۵ و ۱۶ و آپوستلوس زیزس^۶ و کستاس ستاماتیو^۷ برای آماده‌سازی بخش‌هایی از حل‌المسائل سپاسگزاریم.

فهرست مطالب

۱

فصل ۱ مقدمه

- ۱.۱ اجزای تشکیل دهنده‌ی یک سیستم مخابراتی دیجیتال ۱
- ۲.۱ کانال‌های مخابراتی و مشخصات آنها ۳
- ۳.۱ مدل‌های ریاضی برای کانال‌های مخابراتی ۱۰
- ۴.۱ سیر تحول و توسعه سیستم‌های مخابراتی دیجیتال از منظر تاریخی ۱۲
- ۵.۱ مرور مطالب کتاب ۱۵
- ۶.۱ نکات راجع به کتب و مراجع ۱۵

۱۷

فصل ۲ تجزیه و تحلیل سیگنال‌های معین و تصادفی

- ۱.۲ نمایش پائین‌گذر و میان‌گذر سیگنال ۱۸
- ۲.۱.۱ سیگنال‌های پائین‌گذر و میان‌گذر ۱۸
- ۲.۱.۲ معادل پائین‌گذر سیگنال‌های میان‌گذر ۲۱
- ۳.۱.۲ ملاحظات انرژی ۲۵
- ۴.۱.۲ معادل پائین‌گذر یک سیستم میان‌گذر ۲۷
- ۲.۲ نمایش فضای سیگنال شکل موج‌ها ۲۸
- ۱.۲.۲ مفاهیم فضای برداری ۲۸
- ۲.۲.۲ مفاهیم فضای سیگنال ۳۰
- ۳.۲.۲ بسط متعامد سیگنال‌ها ۳۰
- ۴.۲.۲ روش گرام-اشمیت ۳۳
- ۳.۲ برخی متغیرهای تصادفی مفید ۴۰
- ۴.۲ کران‌های احتمالات دنباله ۵۶
- ۵.۲ قضایای حد برای جمع متغیرهای تصادفی ۶۳
- ۶.۲ متغیرهای تصادفی مختلط ۶۳
- ۱.۶.۲ بردارهای تصادفی مختلط ۶۴
- ۷.۲ فرآیندهای تصادفی ۶۶
- ۱.۷.۲ فرآیندهای تصادفی ایستاد به معنای وسیع (WSS) ۶۷

فرآیندهای تصادفی ایستادن تناوبی ۷۰	۲.۷.۲
فرآیندهای تصادفی دایروی و شایسته ۷۱	۳.۷.۲
زنجیره‌های مارکوف ۷۱	۴.۷.۲
بسط سری فرآیندهای تصادفی ۷۴	۸.۲
قضیه نمونه‌برداری برای فرآیندهای تصادفی باند محدود ۷۴	۱.۸.۲
بسط کارهونن - لئو ۷۶	۲.۸.۲
فرآیندهای تصادفی پائین‌گذر و میان‌گذر ۷۸	۹.۲
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع ۸۲	۱۰.۲
مسائل ۸۳	

۹۵

فصل ۳ شیوه‌های مدوله‌سازی دیجیتال

نمایش سیگنال‌های مدوله‌شده‌ی دیجیتال ۹۵	۱.۳
روش‌های مدوله‌سازی بدون حافظه ۹۷	۲.۳
مدوله‌سازی دامنه‌ی پالس (PAM) ۹۸	۱.۲.۳
مدوله‌سازی فاز ۱۰۱	۲.۲.۳
مدوله‌سازی دامنه‌ی تریبویی ۱۰۳	۳.۲.۳
سیگنال‌دهی چند بعدی ۱۰۸	۴.۲.۳
روش‌های سیگنال‌دهی با حافظه ۱۱۴	۳.۳
کلیدزنی جابه‌جایی فرکانس با فاز پیوسته (CPFSK) ۱۱۶	۱.۳.۳
مدوله‌سازی فاز پیوسته (CPM) ۱۱۸	۲.۳.۳
طیف توان سیگنال‌های مدوله‌شده دیجیتال ۱۳۱	۴.۳
چگالی طیف توان سیگنال مدوله‌شده دیجیتال با حافظه ۱۳۱	۱.۴.۳
چگالی طیف توان سیگنال‌های مدوله‌شده خطی ۱۳۳	۲.۴.۳
چگالی طیف توان سیگنال‌های مدوله‌شده دیجیتال با حافظه محدود ۱۳۵	۳.۴.۳
چگالی طیف توان روش‌های مدوله‌سازی با ساختار مارکوف ۱۳۶	۴.۴.۳
چگالی طیف توان سیگنال‌های CPFSK و CPM ۱۳۸	۵.۴.۳
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع ۱۴۸	۵.۳
مسائل ۱۴۹	

۱۶۰

فصل ۴ گیرنده‌های بهینه برای کانال‌های AWGN

مدل‌های کانال برداری و شکل موج ۱۶۰	۱.۴
آشکارسازی بهینه برای یک کانال برداری عام ۱۶۱	۱.۱.۴
کانال‌های AWGN برداری و شکل موج ۱۶۷	۲.۴
آشکارساز بهینه برای کانال AWGN برداری ۱۷۰	۱.۲.۴
پیاپی‌سازی گیرنده بهینه برای کانال AWGN ۱۷۷	۲.۲.۴

کران اجتماع برای احتمال خطای آشکارسازی حداکثر تشابه ۱۸۲	۳.۲.۴
آشکارسازی بهینه و احتمال خطا برای سیگنال دهی باند محدود ۱۸۸	۳.۴
آشکارسازی بهینه و احتمال خطا برای سیگنال دهی ASK و PAM ۱۸۸	۱.۳.۴
آشکارسازی بهینه و احتمال خطا برای سیگنال دهی PSK ۱۹۰	۲.۳.۴
آشکارسازی بهینه و احتمال خطا برای سیگنال دهی QAM ۱۹۶	۳.۳.۴
وآمدوله سازی و آشکارسازی ۲۰۱	۴.۳.۴
آشکارسازی بهینه و احتمال خطا برای سیگنال دهی توان محدود ۲۰۳	۴.۴
آشکارسازی بهینه و احتمال خطا برای سیگنال دهی متعامد ۲۰۳	۱.۴.۴
آشکارسازی بهینه و احتمال خطا برای سیگنال دهی زوج متعامد ۲۰۷	۲.۴.۴
آشکارسازی بهینه و احتمال خطا برای سیگنال دهی سادک ۲۰۹	۳.۴.۴
آشکارسازی بهینه در حضور عدم قطعیت: آشکارسازی غیر همدموس ۲۱۰	۵.۴
آشکارسازی غیرهمدموس سیگنال های مدوله شده ۲۱۲	۱.۵.۴
آشکارسازی ناهمدموس بهینه برای سیگنال های مدوله شده FSK ۲۱۵	۲.۵.۴
احتمال خطا برای سیگنال دهی متعامد با آشکارسازی غیر همدموس ۲۱۶	۳.۵.۴
احتمال خطا برای آشکارسازی پوش سیگنال های دودویی همبسته ۲۱۹	۴.۵.۴
PSK تفاضلی (DPSK) ۲۲۱	۵.۵.۴
مقایسه ی روش های سیگنال دهی دیجیتال ۲۲۶	۶.۴
پهنای باند و تعداد بعد ۲۲۶	۱.۶.۴
مشبکه ها و منظومه های مبتنی بر مشبکه ها ۲۳۰	۷.۴
مقدمه ای بر مشبکه ها ۲۳۰	۱.۷.۴
منظومه های سیگنال حاصل از مشبکه ها ۲۳۷	۲.۷.۴
آشکارسازی روش های سیگنال دهی با حافظه ۲۴۲	۸.۴
آشکارساز دنباله ی حداکثر تشابه ۲۴۳	۱.۸.۴
گیرنده ی بهینه برای سیگنال های CPM ۲۴۶	۹.۴
وآمدوله سازی و آشکارسازی بهینه ی CPM ۲۴۷	۱.۹.۴
عملکرد سیگنال های CPM ۲۵۱	۲.۹.۴
وآمدوله سازی و آشکارسازی زیر بهینه سیگنال های CPM ۲۵۸	۳.۹.۴
تجزیه و تحلیل عملکرد سیستم های مخابراتی سیمی و رادیویی ۲۵۹	۱۰.۴
تکرارکننده های بازساز ۲۶۰	۱.۱۰.۴
نکات راجع به کتاب ها و مراجع ۲۶۵	۱۱.۴
مسائل ۲۶۶	

تخمین پارامترهای سیگنال ۲۹۰	۱.۵
تابع تشابه ۲۹۲	۱.۱.۵
بازیابی حامل و همزمانی سمبل در وآمدوله سازی سیگنال ۲۹۲	۲.۱.۵

تخمین فاز حامل ۲۹۵	۲.۵
تخمین حداکثر تشابه فاز حامل ۲۹۶	۱.۲.۵
حلقه‌ی قفل فاز ۲۹۸	۲.۲.۵
اثر نویز تجمعی بر تخمین فاز ۳۰۰	۳.۲.۵
حلقه‌های تصمیم‌گرا ۳۰۳	۴.۲.۵
حلقه‌های غیرتصمیم‌گرا ۳۰۸	۵.۲.۵
تخمین زمان‌بندی سمبل ۳۱۵	۳.۵
تخمین حداکثر تشابه تأخیر زمان‌بندی ۳۱۶	۱.۳.۵
تخمین زمان‌بندی غیرتصمیم‌گرا ۳۱۷	۲.۳.۵
تخمین مشترک فاز حامل و زمان‌بندی سمبل ۳۲۱	۴.۵
شاخصه‌های عملکرد تخمین‌گرهای حداکثر تشابه ۳۲۳	۵.۵
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع ۳۲۶	۶.۵
مسائل ۳۲۷	

۳۳۰

فصل ۶ مقدمه‌ای بر تئوری اطلاعات

مدل‌های ریاضی برای منابع اطلاعات ۳۳۱	۱.۶
سنجش لگاریتمی اطلاعات ۳۳۲	۲.۶
کدگذاری بدون تلف منابع اطلاعات ۳۳۵	۳.۶
قضیه‌ی کدگذاری بدون تلف منبع ۳۳۶	۱.۳.۶
الگوریتم‌های کدگذاری بدون تلف ۳۳۹	۲.۳.۶
فشرده‌سازی داده با تلف ۳۴۸	۴.۶
انترپوی و اطلاعات متقابل برای متغیرهای تصادفی پیوسته ۳۴۸	۱.۴.۶
تابع اعوجاج نرخ ۳۵۰	۲.۴.۶
مدل‌های کانال و ظرفیت کانال ۳۵۴	۵.۶
مدل‌های کانال ۳۵۵	۱.۵.۶
ظرفیت کانال ۳۶۰	۲.۵.۶
دستیابی به ظرفیت کانال با سیگنال‌های متعامد ۳۶۷	۶.۶
تابع قابلیت اطمینان کانال ۳۶۹	۷.۶
نرخ قطع کانال ۳۷۱	۸.۶
کدگذاری تصادفی ۳۷۴	۲.۸.۶
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع ۳۸۰	۹.۶
مسائل ۳۸۲	

۴۰۰

فصل ۷ کدهای بلوکی خطی

تعاریف پایه ۴۰۱	۱.۷
-----------------	-----

ساختار میدان‌های محدود ۴۰۳	۱.۱.۷
فضاهای برداری ۴۱۰	۲.۱.۷
خصوصیات عمومی کدهای بلوکی خطی ۴۱۱	۲.۷
ماتریس‌های مولد و آزمون توازن ۴۱۲	۱.۲.۷
وزن و فاصله برای کدهای بلوکی خطی ۴۱۴	۲.۲.۷
چندجمله‌ای توزیع وزن ۴۱۵	۳.۲.۷
احتمال خطا برای کدهای بلوکی خطی ۴۱۷	۴.۲.۷
برخی کدهای بلوکی خطی شناخته شده ۴۲۰	۳.۷
کدهای تکرار ۴۲۰	۱.۳.۷
کدهای همینگ ۴۲۰	۲.۳.۷
کدهای با حداکثر طول ۴۲۱	۳.۳.۷
کدهای رید - مولر ۴۲۱	۴.۳.۷
کدهای هادامارد ۴۲۳	۵.۳.۷
کدهای گولی ۴۲۴	۶.۳.۷
کدبرداری بهینه نرم تصمیم برای کدهای بلوکی خطی ۴۲۴	۴.۷
کدبرداری سخت تصمیم کدهای بلوکی خطی ۴۲۸	۵.۷
توانایی کدهای بلوکی در تشخیص و تصحیح خطا ۴۳۲	۱.۵.۷
احتمال خطای بیت و بلوک برای کدبرداری سخت تصمیم ۴۳۳	۲.۵.۷
مقایسه‌ی عملکرد کدبرداری سخت تصمیم با نرم تصمیم ۴۳۶	۶.۷
کران‌های حداقل فاصله کدهای بلوکی خطی ۴۴۰	۷.۷
کران سینگلتون ۴۴۰	۱.۷.۷
کران همینگ ۴۴۱	۲.۷.۷
کران پلوتکین ۴۴۲	۳.۷.۷
کران الیاس ۴۴۳	۴.۷.۷
کران مک الیس - رودمیش - رمزی - ولش (MRRW) ۴۴۳	۵.۷.۷
کران ورشاموف - گیلبرت ۴۴۳	۶.۷.۷
کدهای بلوکی خطی تغییر یافته ۴۴۵	۸.۷
کوتاه کردن و طولانی کردن ۴۴۵	۱.۸.۷
غریبال کردن و توسیع ۴۴۶	۲.۸.۷
زدودن و افزودن ۴۴۷	۳.۸.۷
کدهای دوره‌ای ۴۴۷	۹.۷
کدهای دوره‌ای - تعاریف و خصوصیات پایه ۴۴۸	۱.۹.۷
کدهای دوره‌ای سیستماتیک ۴۵۳	۲.۹.۷
کدگذاری کدهای دوره‌ای ۴۵۵	۳.۹.۷
کدبرداری کدهای دوره‌ای ۴۵۸	۴.۹.۷
مثال‌هایی از کدهای دوره‌ای ۴۶۰	۵.۹.۷
کدهای بوس - چودری - هوکنگام (BCH) ۴۶۳	۱۰.۷

ساختار کدهای BCH ۴۶۳	۱.۱۰.۷
کدبرداری کدهای BCH ۴۶۷	۲.۱۰.۷
کدهای رید - سولمون ۴۷۱	۱۱.۷
کدگذاری برای کانال‌های با خطای ترکیبی ۴۷۵	۱۲.۷
کدهای ترکیبی ۴۷۷	۱۳.۷
کدهای ضربی ۴۷۷	۱.۱۳.۷
کدهای رشته‌ای ۴۷۹	۲.۱۳.۷
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع ۴۸۲	۱۴.۷
مسائل ۴۸۳	

ساختار کدهای کانولوشنال ۴۹۱	۱.۸
نمودارهای درخت، ترلیس، حالت ۴۹۶	۱.۱.۸
تابع انتقال یک کد کانولوشنال ۵۰۰	۲.۱.۸
کدهای کانولوشنال سیستماتیک، غیربازگشتی و بازگشتی ۵۰۵	۳.۱.۸
معکوس یک کدگذار کانولوشنال و کدهای فاجعه‌بار ۵۰۸	۴.۱.۸
کدبرداری کدهای کانولوشنال ۵۱۰	۲.۸
کدبرداری حداکثر تشابه کدهای کانولوشنال - الگوریتم ویتربی ۵۱۰	۱.۲.۸
احتمال خطا برای کدبرداری حداکثر تشابه کدهای کانولوشنال ۵۱۳	۲.۲.۸
خصوصیات فاصله‌ی کدهای کانولوشنال دودویی ۵۱۶	۳.۸
کدهای کانولوشنال غربال شده ۵۱۶	۴.۸
کدهای کانولوشنال غربال شده با نرخ سازگار ۵۲۳	۱.۴.۸
سایر الگوریتم‌های کدبرداری برای کدهای کانولوشنال ۵۲۵	۵.۸
ملاحظات عملی در کاربرد کدهای کانولوشنال ۵۳۲	۶.۸
کدهای غیردودویی دو k بی و کدهای رشته‌ای ۵۳۷	۷.۸
کدبرداری حداکثر احتمال پسین برای کدهای کانولوشنال - الگوریتم BCJR ۵۴۱	۸.۸
کدهای توربو و کدبرداری تکراری ۵۴۸	۹.۸
کران‌های عملکرد برای کدهای توربو ۵۴۹	۱.۹.۸
کدبرداری تکراری کدهای توربو ۵۵۲	۲.۹.۸
مطالعه‌ی نقشه انتقال اطلاعات خارجی (EXIT) کدبرداری تکراری ۵۵۵	۳.۹.۸
گراف‌های عامل و الگوریتم جمع - ضرب ۵۵۸	۱۰.۸
گراف‌های تانر ۵۵۸	۱.۱۰.۸
گراف‌های عامل ۵۶۱	۲.۱۰.۸
الگوریتم جمع - ضرب ۵۶۴	۳.۱۰.۸
کدبرداری حداکثر احتمال پسین (MAP) با استفاده از الگوریتم جمع - ضرب ۵۶۷	۴.۱۰.۸
کدهای آزمون توازن کم‌چگال ۵۶۸	۱۱.۸

کدبرداری کدهای LDPC ۵۷۰	۱.۱۱.۸
کدگذاری برای کانال‌های با محدودیت پهنای باند - مدوله‌سازی کدشده‌ی ترلیس ۵۷۱	۱۲.۸
مشبکه‌ها و مدوله‌سازی ترلیس کدشده ۵۸۳	۱.۱۲.۸
مدوله‌سازی کدشده توربو با کارآمدی پهنای باند ۵۸۶	۲.۱۲.۸
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع ۵۸۹	۱۳.۸
مسائل ۵۹۱	

فصل ۹ طراحی سیگنال برای کانال‌های با پهنای باند محدود ۵۹۷

توصیف کانال‌های با پهنای باند محدود ۵۹۸	۱.۹
طراحی سیگنال برای کانال‌های با پهنای باند محدود ۶۰۲	۲.۹
طراحی سیگنال‌های با پهنای باند محدود در غیاب ISI - معیار نایکوئیست ۶۰۴	۱.۲.۹
طراحی سیگنال‌های با پهنای باند محدود و ISI کنترل شده - سیگنال‌های پاسخ جزئی ۶۰۹	۲.۲.۹
آشکارسازی داده برای ISI کنترل شده ۶۱۳	۳.۲.۹
طراحی سیگنال برای کانال‌های دارای اعوجاج ۶۱۹	۴.۲.۹
گیرنده‌ی بهینه برای کانال‌های با نویز تجمعی سفید گوسی و تداخل بین سمبل‌ها ۶۲۳	۳.۹
گیرنده حداکثر تشابه بهینه ۶۲۳	۱.۳.۹
یک مدل زمان گسسته برای کانال دارای تداخل بین سمبل‌ها ۶۲۵	۲.۳.۹
تخمین دنباله حداکثر تشابه (MLSE) برای مدل فیلتر نویز سفید زمان گسسته ۶۲۸	۳.۳.۹
عملکرد الگوریتم تخمین حداکثر تشابه دنباله، برای کانال‌های دارای تداخل بین سمبلی ۶۳۱	۴.۳.۹
همسان‌سازی خطی ۶۴۰	۴.۹
معیار قله اعوجاج ۶۴۱	۱.۴.۹
معیار متوسط مجذور خطا (MSE) ۶۴۵	۲.۴.۹
مشخصات عملکردی همسان‌ساز متوسط مجذور خطا ۶۵۰	۳.۴.۹
همسان‌سازی با فواصل کسری ۶۵۵	۴.۴.۹
همسان‌سازی‌های خطی میان‌گذر و باندپایه ۶۵۸	۵.۴.۹
همسان‌سازی با پس‌خور تصمیم ۶۶۱	۵.۹
بهینه‌سازی ضرایب ۶۶۲	۱.۵.۹
مشخصات عملکرد DFE ۶۶۲	۲.۵.۹
همسان‌ساز با پس‌خور تصمیم تخمین‌گرانه ۶۶۵	۳.۵.۹
همسان‌سازی در فرستنده - پیش‌گذراری توملینسون - هارشیمما ۶۶۸	۴.۵.۹
آشکارسازی‌های ML با پیچیدگی کاهش یافته ۶۶۹	۶.۹
همسان‌سازی و کدبرداری تکراری - همسان‌سازی توربو ۶۷۱	۷.۹
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع ۶۷۳	۸.۹
مسائل ۶۷۵	

همسان‌سازی خطی وقتی ۶۸۹	۱.۱۰
الگوریتم صفر اجباری ۶۹۰	۱.۱.۱۰
الگوریتم کمترین متوسط مجذور (LMS) ۶۹۱	۲.۱.۱۰
خصوصیات همگرایی الگوریتم LMS ۶۹۵	۳.۱.۱۰
متوسط مجذور خطای اضافی ناشی از تخمین‌های نویزی گرادیان ۶۹۶	۴.۱.۱۰
شتاب بخشیدن به نرخ همگرایی اولیه در الگوریتم LMS ۷۰۰	۵.۱.۱۰
همسان‌سازی وقتی با فواصل کسری - الگوریتم شیر نشتی ۷۰۲	۶.۱.۱۰
یک تخمین‌گر کانال وقتی برای آشکارسازی دنباله حداکثر تشابه ۷۰۳	۷.۱.۱۰
همسان‌سازی پس‌خور تصمیم وقتی ۷۰۵	۲.۱۰
همسان‌سازی وقتی سیگنال‌های گذشته ترلیس ۷۰۶	۳.۱۰
الگوریتم‌های کمترین مربعات بازگشتی (RLS) برای همسان‌سازی وقتی ۷۱۰	۴.۱۰
الگوریتم کمترین مربعات بازگشتی (کالمن) ۷۱۱	۱.۴.۱۰
پیشگویی خطی و فیلتر مشبکه ۷۱۶	۲.۴.۱۰
همسان‌سازی خودبازباز (کور) ۷۲۱	۵.۱۰
همسان‌سازی کور مبتنی بر معیار حداکثر تشابه ۷۲۱	۱.۵.۱۰
الگوریتم‌های گرادیان آماری ۷۲۵	۲.۵.۱۰
الگوریتم‌های همسان‌سازی کور مبتنی بر آمارگان مرتبه‌ی دوم و بالاتر سیگنال ۷۳۰	۳.۵.۱۰
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع ۷۳۱	۶.۱۰
مسائل ۷۳۳	

مخابرات دیجیتال چند کاناله در کانال‌های AWGN ۷۳۷	۱.۱۱
سیگنال‌های دودویی ۷۳۹	۱.۱.۱۱
سیگنال‌های متعامد M سطحه ۷۴۱	۲.۱.۱۱
مخابرات چند حاملی ۷۴۳	۲.۱۱
مدوله‌سازی تک حاملی در مقابل مدوله‌سازی چند حاملی ۷۴۳	۱.۲.۱۲
ظرفیت یک کانال فیلتر خطی غیرایده‌آل ۷۴۴	۲.۲.۱۲
مالتی پلکس با تقسیمات فرکانسی متعامد (OFDM) ۷۴۶	۳.۲.۱۱
مدوله‌سازی و وامدوله‌سازی در سیستم OFDM ۷۴۷	۴.۲.۱۲
پیاپی‌سازی یک سیستم OFDM با استفاده از الگوریتم FFT ۷۴۹	۵.۲.۱۱
مشخصات طیفی سیگنال‌های چندحامله ۷۵۲	۶.۲.۱۱
تخصیص بیت و توان در مدوله‌سازی چندحامله ۷۵۴	۷.۲.۱۱
نسبت قله به میانگین در مدوله‌سازی چندحاملی ۷۵۷	۸.۲.۱۱
ملاحظات در باب کدگذاری کانال در مدوله‌سازی چندحامله ۷۵۹	۹.۲.۱۱

نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع ۷۵۹ ۳.۱۱

مسائل ۷۶۱

۷۶۲

فصل ۱۲ سیگنال‌های طیف گسترده برای مخابرات دیجیتال

- ۱.۱۲ مدل سیستم مخابراتی دیجیتال طیف گسترده ۷۶۳
- ۲.۱۲ سیگنال‌های طیف گسترده دنباله‌ی مستقیم ۷۶۵
- ۱.۲.۱۲ عملکرد نرخ خطای کدبردار ۷۶۸
- ۲.۲.۱۲ برخی کاربردهای سیگنال‌های طیف گسترده دنباله‌ی مستقیم ۷۷۸
- ۳.۲.۱۲ اثر تداخل پالسی بر سیستم‌های طیف گسترده دنباله‌ی مستقیم ۷۸۴
- ۴.۲.۱۲ کاهش تداخل باند باریک در سیستم‌های طیف گسترده‌ی دنباله‌ی مستقیم ۷۹۱
- ۵.۲.۱۲ تولید دنباله‌های PN ۷۹۶
- ۳.۱۲ سیگنال‌های طیف گسترده پرش فرکانسی (FH) ۸۰۲
- ۱.۳.۱۲ عملکرد سیگنال‌های طیف گسترده پرش فرکانسی در کانال AWGN ۸۰۴
- ۲.۳.۱۲ عملکرد سیگنال‌های طیف گسترده پرش فرکانسی در حضور تداخل باند جزئی ۸۰۶
- ۳.۳.۱۲ یک سیستم CDMA مبتنی بر سیگنال‌های طیف گسترده پرش فرکانسی ۸۱۳
- ۴.۱۲ سایر انواع سیگنال‌های طیف گسترده ۸۱۴
- ۵.۱۲ همزمانی سیستم‌های طیف گسترده ۸۱۵
- ۶.۱۲ نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع ۸۲۳
- ۸۲۴ مسائل

۸۳۰

فصل ۱۳ کانال‌های محوشونده I : توصیف و سیگنال‌دهی

- ۱.۱۳ توصیف کانال‌های چندمسیره‌ی محوشونده ۸۳۱
- ۱.۱.۱۳ توابع همبستگی و چگالی طیف توان کانال ۸۳۳
- ۲.۱.۱۳ مدل‌های آماری برای کانال‌های محوشونده ۸۳۹
- ۲.۱۳ اثر مشخصات سیگنال بر انتخاب مدل کانال ۸۴۴
- ۳.۱۳ کانال غیرفرکانس‌گزين با محوشدگی آهسته ۸۴۶
- ۴.۱۳ روش‌های چندگانگی برای کانال‌های چندمسیره‌ی محوشونده ۸۵۰
- ۱.۴.۱۳ سیگنال‌های دودویی ۸۵۱
- ۲.۴.۱۳ سیگنال‌های چند فازه ۸۵۹
- ۳.۴.۱۳ سیگنال‌های متعامد M سطحه ۸۶۱
- ۵.۱۳ سیگنال‌دهی روی یک کانال فرکانس‌گزين با محوشدگی آهسته: واندوله‌ساز پنجه‌ای (RAKE) ۸۶۹
- ۱.۵.۱۳ مدل کردن کانال با یک خط تأخیری دارای شیرهای وسط ۸۶۹
- ۲.۵.۱۳ واندوله‌ساز پنجه‌ای (RAKE) ۸۷۱
- ۳.۵.۱۳ عملکرد واندوله‌ساز پنجه‌ای (RAKE) ۸۷۲

ساختارهای گیرنده برای کانال‌های دارای تداخل بین سمبلی	۴.۵.۱۳	۸۸۲
مدوله‌سازی چندحاملی (OFDM)	۶.۱۳	۸۸۴
تخریب عملکرد سیستم OFDM بر اثر گسترش داپلر	۱.۶.۱۳	۸۸۴
حذف ICI در سیستم‌های OFDM	۲.۶.۱۳	۸۸۹
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع	۷.۱۳	۸۹۰
مسائل	۸۹۲	

۸۹۹

فصل ۱۴ کانال‌های محوشونده II: ظرفیت و کدگذاری

ظرفیت کانال‌های محوشونده	۱.۱۴	۹۰۰
ظرفیت کانال‌های با تعداد حالت محدود	۱.۱.۱۴	۹۰۳
ظرفیت ارگودیک و ظرفیت انقطاع	۲.۱۴	۹۰۵
ظرفیت ارگودیک برای کانال با محوشدگی رایلی	۱.۲.۱۴	۹۰۷
ظرفیت انقطاع کانال‌های محوشونده‌ی رایلی	۲.۲.۱۴	۹۱۳
کدگذاری برای کانال‌های محوشونده	۳.۱۴	۹۱۸
عملکرد سیستم‌های کد شده در کانال‌های محوشونده	۴.۱۴	۹۱۹
کدگذاری برای مدل کانال کاملاً درهم‌نهی شده	۱.۴.۱۴	۹۲۰
مدوله‌سازی ترلیس کد شده برای کانال‌های محوشونده	۵.۱۴	۹۲۹
سیستم‌های مدوله‌سازی کد شده ترلیس (TCM) برای کانال‌های محوشونده	۱.۵.۱۴	۹۳۰
مدوله‌سازی کد شده ترلیس چندگانه (MTCM)	۲.۵.۱۴	۹۳۳
مدوله‌سازی کد شده با درهم‌نهی بیت	۶.۱۴	۹۳۶
کدگذاری در فضای فرکانس	۷.۱۴	۹۴۲
احتمال خطا برای کدبرداری نرم تصمیم کدهای بلوکی خطی دودویی	۱.۷.۱۴	۹۴۳
احتمال خطا برای کدبرداری سخت تصمیم کدهای بلوکی خطی دودویی	۲.۷.۱۴	۹۴۵
کران‌های بالای عملکرد کدهای کانولوشنال برای کانال با محوشدگی رایلی	۳.۷.۱۴	۹۴۶
استفاده از کدهای با وزن ثابت و کدهای رشته‌ای برای کانال محوشونده	۴.۷.۱۴	۹۴۹
نرخ قطع برای کانال‌های محوشونده	۸.۱۴	۹۵۷
نرخ قطع کانال برای کانال‌های محوشونده کاملاً درهم‌نهی شده و در دسترس بودن اطلاعات حالت کانال در گیرنده	۱.۸.۱۴	۹۵۷
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع	۹.۱۴	۹۶۰
مسائل	۹۶۲	

۹۶۶

فصل ۱۵ سیستم‌های چندآنتنه

مدل‌های کانال برای سیستم‌های چندآنتنه	۱.۱۵	۹۶۶
ارسال سیگنال از طریق کانال MIMO غیر فرکانس‌گزين با محوشدگی آهسته	۱.۱.۱۵	۹۶۸
آشکارسازی سمبل‌های داده در یک سیستم MIMO	۲.۱.۱۵	۹۷۰

ارسال سیگنال از طریق یک کانال MIMO فرکانس گزین با محوشدگی آهسته ۹۷۵	۳.۱.۱۵
ظرفیت کانال‌های MIMO ۹۸۱	۲.۱۵
مقدمات ریاضی ۹۸۱	۱.۲.۱۵
ظرفیت کانال MIMO معین و غیر فرکانس گزین ۹۸۲	۲.۲.۱۵
ظرفیت یک کانال MIMO غیر فرکانس گزین و تصادفی از نوع ارگودیک ۹۸۵	۳.۲.۱۵
ظرفیت انقطاع ۹۸۷	۴.۲.۱۵
ظرفیت کانال MIMO وقتی که کانال برای فرستنده شناخته شده است ۹۹۰	۵.۲.۱۵
سیگنال‌های طیف گسترده و انتقال چند کدی ۹۹۲	۳.۱۵
دنباله‌های گسترده متعامد ۹۹۲	۱.۳.۱۵
بهره‌ی مالتی‌پلکس کردن در مقابل بهره‌ی چندگانگی ۹۹۶	۲.۳.۱۵
سیستم‌های MIMO چند کدی ۹۹۷	۳.۳.۱۵
کدگذاری برای کانال‌های MIMO ۱۰۰۱	۴.۱۵
عملکرد سیستم‌های SISO کد شده زمانی روی کانال‌های محوشونده رایلی ۱۰۰۱	۱.۴.۱۵
کدگذاری زمانی با درهم‌نهی بیت برای کانال‌های MIMO ۱۰۰۳	۲.۴.۱۵
کدهای بلوکی فضا-زمان برای کانال‌های MIMO ۱۰۰۶	۳.۴.۱۵
احتمال خطای زوجی برای کد فضا-زمان ۱۰۱۴	۴.۴.۱۵
کدهای ترلیس فضا-زمان برای کانال‌های MIMO ۱۰۱۶	۵.۴.۱۵
کدهای فضا-زمان رشته‌ای و کدهای توربو ۱۰۲۰	۶.۴.۱۵
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع ۱۰۲۱	۵.۱۵
مسائل ۱۰۲۲	

۱۰۲۸

فصل ۱۶ مخابرات چند کاربره

معرفی روش‌های دسترسی چندگانه ۱۰۲۸	۱.۱۶
ظرفیت روش‌های دسترسی چندگانه ۱۰۳۱	۲.۱۶
آشکارسازی چند کاربره در سیستم‌های CDMA ۱۰۳۶	۳.۱۶
سیگنال CDMA و مدل‌های کانال ۱۰۳۷	۱.۳.۱۶
گیرنده‌ی بهینه چند کاربره ۱۰۳۸	۲.۳.۱۶
آشکارسازهای زیر بهینه ۱۰۴۲	۳.۳.۱۶
حذف تدریجی تداخل ۱۰۴۷	۴.۳.۱۶
سایر انواع آشکارسازهای چند کاربره ۱۰۴۹	۵.۳.۱۶
مشخصات عملکردی آشکارسازها ۱۰۵۰	۶.۳.۱۶
سیستم‌های چند کاربره با چندین ورودی - چندین خروجی برای کانال‌های پخش ۱۰۵۳	۴.۱۶
پیش کدگذاری خطی سیگنال‌های ارسالی ۱۰۵۵	۱.۴.۱۶
پیش کدگذاری غیر خطی سیگنال‌های ارسالی - تجزیه QR ۱۰۵۸	۲.۴.۱۶
پیش کدگذاری برداری غیر خطی ۱۰۶۲	۳.۴.۱۶
روش کاهش شبکه برای پیش کدگذاری ۱۰۶۵	۴.۴.۱۶

روش‌های دسترسی تصادفی	۱۰۶۸	۵.۱۶
سیستم‌ها و پروتکل‌های آلوها	۱۰۶۹	۱.۵.۱۶
پروتکل‌ها و سیستم‌های تشخیص حامل	۱۰۷۳	۲.۵.۱۶
نکات راجع به کتاب‌ها و مراجع	۱۰۷۷	۶.۱۶
مسائل	۱۰۷۹	

ضمیمه‌ها

ضمیمه‌ی الف	ماتریس‌ها	۱۰۸۵
ضمیمه‌ی ب	احتمال خطا برای سیگنال‌های دودویی چندکاناله	۱۰۹۰
ضمیمه‌ی ج	احتمال‌های خطا برای دریافت وقتی سیگنال‌های M_ فازه	۱۰۹۶
ضمیمه‌ی د	عامل‌بندی ریشه‌ی دوم	۱۱۰۷
کتاب‌ها و مراجع		۱۱۰۹
فهرست الفبایی		۱۱۴۳