

حسگری طیفی در شبکه‌های رادیوی شناختی

نگارندگان

دکتر پائیز عزمی
استاد راهنما، تدریس مدرس

دکتر ح. صادقی

۱۳۹۶



سرشناسه: عزمی، پائیز، ۱۳۵۳ -

عنوان و نام پدیدآور: خسکری طیفی در شبکه‌های رادیویی شناختی / نگارندگان پائیز عزمی، حامد صادقی.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، ۱۳۹۶.

مشخصات ظاهری: ۳۵۱ ص.: مصور، جدول، نمودار (بخشی رنگی).

شابک: 978-600-7589-44-1

وضعیت فهرست نویسی: فیا

یادداشت: واژه‌نامه.

یادداشت: کتابنامه.

یادداشت: نمایه.

موضوع: شبکه‌های رادیوشناختی

Cognitive radio networks: موضوع

موضوع: مدیریت منابع رادیویی (ارتباطات بی‌سیم)

Radio resource management (Wireless communications): موضوع

موضوع: شبکه‌های حسگر بی‌سیم

Wireless sensor networks: موضوع

موضوع: آشکارسازی سیگنال‌ها

Signal detection: موضوع

شابک افزوده: صادقی، حامد، ۱۳۶۲ -

شابک افزوده: شاه تریت مدرس، مرکز نشر آثار علمی

Tarbiat Modares University, TMU Press: شابک افزوده

ردیفی کتاب: ۹۶۵۱۰۳/۴۸۱۵/ع/۴۸۱۵ TK

ده‌بند: ۶۲۱/۳۸۴

شماره: ۶۴، ۴۶۶

حسگرهای طیفی / رادیویی شناختی

نگارندگان: دکتر پائیز عزمی، دکتر حامد صادقی

ویراستار ادبی و فنی: لیلا نجفی مان

اجرای جلد: مصطفی جانجانی

حروفچینی: فرشته نجف

شماره انتشار: ۲۱۳

شماره پیاپی: ۲۶۱

تاریخ انتشار: ۱۳۹۶

شمارگان: ۱۰۰۰

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۵۸۹-۴۴-۱ SBN: 78-600-7589-44-1

ناشر: مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس

نویت چاپ: اول

کارشناس اجرایی: فاطمه طالبی

ناظر چاپ: مصطفی جانجانی

لیتوگرافی: ایرانگرافیک

چاپ و صحافی: قشقایی

مرکز پخش: تقاطع بزرگراه‌های آل‌احمد و دکتر چمران،

دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، صندوق پستی: ۳۱۸-۴۱۱۵

تلفن: ۸۲۸۸۳۰۹۶ - ۸۲۸۸۳۰۳۲

بها: ۲۵۰۰۰۰ ریال

صحت مطالب کتاب برعهده نگارندگان است.

فهرست مطالب

فهرست اخته رات.....	ز.....
فهرست علائم، نشانه ها و شاخص ها.....	ط.....
پیشگفتار.....	ک.....

بخش اول - حسگری طیفی غیرمشارکتی

۱- دسترسی طیفی پویا و فناوری رادبوی شناختی.....	۳.....
۱-۱ مقدمه.....	۳.....
۲- سامانه های رادیویی به اشتراک گذاری طیف.....	۹.....
۱-۲-۱ رادیوی شناختی.....	۱۲.....
۳-۱ شبکه های رادیوی شناختی.....	۱۳.....
۱-۳-۱ حسگری طیفی در لایه فیزیکی.....	۱۶.....
۲-۳-۱ حسگری طیفی در لایه MAC.....	۱۷.....
۴-۱ نتیجه گیری.....	۲۰.....
۵-۱ مراجع.....	۲۱.....
۲- مروری بر مبانی آشکارسازی سیگنال.....	۲۳.....
۱-۲ معرفی.....	۲۳.....
۲-۲ حسگری طیفی به عنوان یک مسئله آزمون فرض.....	۲۵.....
۳-۲ آزمون فرض دوتایی (باینری).....	۲۶.....
۱-۳-۲ آزمون فرض ساده.....	۳۱.....

- ۳۱..... ۱-۱-۳-۲ روش بیزی
- ۴۴..... ۲-۳-۲ آزمون فرض مرکب
- ۴۶..... ۱-۲-۳-۲ روش بیزی
- ۴۷..... ۲-۲-۳-۲ روش GLRT
- ۴۹..... ۴-۲ نتیجه‌گیری
- ۴۹..... ۵-۲ مراجع
- ۵۱..... ۳- حسگری خف (غیرمشارکتی)
- ۵۱..... ۱-۳ معرفی
- ۵۲..... ۲-۳ مروری بر روش‌های حسگری طیفی
- ۵۳..... ۱-۲-۳ آشکارسازی فرکانس نده
- ۵۴..... ۱-۱-۲-۳ فیلتر منطبق
- ۵۵..... ۲-۱-۲-۳ آشکارساز ویژگی ایستادن چرخشی
- ۵۶..... ۳-۱-۲-۳ آشکارساز انرژی
- ۵۶..... ۲-۲-۳ آشکارسازی مشارکتی
- ۵۸..... ۳-۲-۳ آشکارسازی بر مبنای دمای تداخل
- ۵۹..... ۴-۲-۳ آشکارسازی توان ناشی نوسانگر محلی
- ۶۰..... ۵-۲-۳ آشکارسازی چند آنتنی
- ۶۱..... ۳-۳ پیاده‌سازی روش‌های حسگری طیفی غیرمشارکتی
- ۶۱..... ۱-۳-۳ آشکارساز انرژی
- ۶۷..... ۲-۳-۳ آشکارساز ویژگی ایستادن چرخشی
- ۶۷..... ۱-۲-۳-۳ تعاریف اولیه
- ۷۱..... ۲-۲-۳-۳ ویژگی ایستادن چرخشی سیگنال‌های OFDM
- ۷۴..... ۳-۲-۳-۳ روش عزمی-صادقی برای حسگری طیفی ویژگی ایستادن چرخشی
- ۸۳..... ۱-۳-۲-۳-۳ روابط تحلیلی کارایی آشکارسازی و انتخاب مقدار آستانه
- ۸۴..... ۲-۳-۲-۳-۳ توسعه به آشکارساز چندچرخه‌ای

۸۵	 روش تعیین مقدار آستانه ۳-۳-۲-۳-۳
۸۷	 سایر روش های آشکارسازی ویژگی ایستان جرخشی ۴-۲-۳-۳
۸۷	 روش LUNDEN-KOIVUNEN (روش LK) ۱-۴-۲-۳-۳
۱۰۶	 روش DERAKHSHANI-LE NGOC ۲-۴-۲-۳-۳
۱۰۷	 روش TANNI-FANTACCI ۳-۴-۲-۳-۳
۱۰۸	 روش JALLON ۴-۴-۲-۳-۳
۱۱۰	 بحث و نتایج شبیه سازی ها ۶-۲-۳-۳
۱۱۴	 تأثیر سرعت کاربر ثانویه بر آشکارسازی ۱-۵-۲-۳-۳
۱۱۶	 شبیه سازی کارایی آشکارساز عزمی - صادقی و مقایسه با سایر روش ها ۵-۲-۳-۳
۱۲۲	 آزمون توپولوژی رانش (GOF) ۳-۳-۳-۳
۱۲۸	 آشکارسازی ویژگی متغیر کوارینانس سیگنال ۴-۳-۳-۳
۱۲۹	 آشکارسازی تغییرات کوارینانس ۱-۴-۳-۳
۱۳۳	 آشکارسازی کوارینانس مبتنی بر مقایسه مشخصه ۱-۴-۳-۳
۱۳۶	 نتیجه گیری ۴-۳-۳-۳
۱۳۸	 ۵-۳ مراجع ۵-۳-۳-۳

بخش دوم - حسگری طیف راداری

۱۴۷	 ۴- مروری بر آشکارسازی توزیع شده ۴-۱-۴-۲-۳-۳
۱۴۸	 ۱-۴ آشکارسازی بیزی توزیع شده در شبکه های جوش موازی ۴-۱-۴-۲-۳-۳
۱۵۲	 ۲-۱-۴ طراحی قانون های جوش ۴-۱-۴-۲-۳-۳
۱۵۵	 ۱-۲-۴ قانون جوش برای حالت تصمیم های نرم ۴-۱-۴-۲-۳-۳
۱۵۵	 ۲-۲-۴ قانون جوش با مشاهدات مستقیم ۴-۱-۴-۲-۳-۳
۱۵۶	 ۳-۲-۴ قانون جوش برای تصمیم های غیرهم زمان ۴-۱-۴-۲-۳-۳
۱۵۸	 ۳-۱-۴ آشکارسازی بهینه در شبکه جوش موازی ۴-۱-۴-۲-۳-۳
۱۶۳	 ۲-۴ آشکارسازی بیزی توزیع شده در سایر توپولوژی های شبکه ها ۴-۱-۴-۲-۳-۳
۱۶۴	 ۱-۲-۴ شبکه سریال ۴-۱-۴-۲-۳-۳

- ۱۶۷..... ۲-۲-۴ شبکه‌های درختی
- ۱۷۰..... ۳-۲-۴ شبکه‌های آشکارسازی با پس‌خورد
- ۱۷۷..... ۴-۲-۴ حالت کلی شبکه‌های آشکارسازی
- ۱۸۵..... ۳-۴ آشکارسازی توزیع شده با قید نرخ هشدار غلط
- ۱۸۵..... ۴-۳-۱ آشکارسازی نیمن-پیرسون توزیع شده
- ۱۸۸..... ۴-۳-۲ آشکارسازی توزیع شده سیگنال‌های ضعیف
- ۱۹۰..... ۴-۴-۴ نتیجه گیری
- ۱۹۱..... ۴-۵ مراجع
- ۱۹۳..... ۵- حسگری طیفی مشارکتی
- ۱۹۳..... ۵-۱ معرفی
- ۱۹۸..... ۵-۲ فرض‌ها و تعاریف اولیه
- ۱۹۹..... ۵-۳ دسته‌بندی تحقیقات موجود در زمینه حسگری مشارکتی
- ۲۰۵..... ۵-۳-۱ حسگری مشارکتی مبتنی بر آشکارسازی انرژی
- ۲۰۶..... ۵-۳-۲ حسگری مشارکتی ویژگی ایستادن چرخشی
- ۲۰۹..... ۵-۳-۱-۲ روش سانسور در حسگری مشارکتی
- ۲۱۷..... ۵-۳-۳ حسگری مشارکتی مبتنی بر آزمون نکویی برازش
- ۲۱۷..... ۵-۳-۴ حسگری مشارکتی مبتنی بر ماتریس کوواریانس
- ۲۱۸..... ۵-۴ نتیجه گیری
- ۲۱۹..... ۵-۵ مراجع
- ۲۲۵..... ۶- حسگری مشارکتی نرم برای سیگنال‌های ایستادن چرخشی
- ۲۲۵..... ۶-۱ مقدمه
- ۲۲۹..... ۶-۲ مدل سیستم
- ۲۳۰..... ۶-۳ روش حسگری مشارکتی LUNDEN-KOIVUNEN
- ۲۳۵..... ۶-۴ روش حسگری مشارکتی عزمی-صادقی
- ۲۳۵..... ۶-۴-۱ با فرض کانال‌های گزارش ایده‌آل

۲۴۱	۱-۱-۴-۶ ارزیابی کارایی آشکارساز مشارکتی
۲۴۱	۱-۱-۴-۶ روش انتخاب مقدار آستانه
۲۴۳	۲-۱-۴-۶ تحلیل کارایی به صورت تحلیلی
۲۴۶	۲-۱-۴-۶ نتایج شبیه سازی ها
۲۵۰	۳-۱-۴-۶ جمع بندی و نتیجه گیری
۲۵۱	۲-۴-۶ با فرض کانال های گزارش غیر ایده آل
۲۵۱	۲-۴-۶ حالت ضرایب محوشدگی معلوم
۲۵۷	۱-۱-۲-۴-۶ روش انتخاب مقدار آستانه در مرکز جوش
۲۶۰	۱-۲-۴-۶ نتایج شبیه سازی ها
۲۶۷	۱-۲-۴-۶ حالت ضرایب محوشدگی نامعلوم
۲۷۱	۱-۲-۴-۶ روش تحلیلی انتخاب مقدار آستانه برای کانال های رایلی
۲۷۵	۲-۲-۴-۶ روش تحلیلی انتخاب مقدار آستانه برای سایر توزیع های
۲۷۶	۱-۲-۲-۴-۶ استخراج رابطه تحلیل ممات های متغیر تصمیم مرکز جوش
۲۷۹	۲-۲-۴-۶ روش تعیین مقادیر آستانه در مرکز جوش
۲۸۸	۳-۲-۴-۶ نتایج شبیه سازی ها
۲۸۸	۱-۳-۲-۴-۶ حالت کانال های گزارش رایی نانت
۲۹۳	۲-۳-۲-۴-۶ حالت کانال های گزارش ناکاگامی -۱
۲۹۵	۵-۶ نتیجه گیری
۲۹۶	۶-۶ مراجع
۲۹۹	۷-۶ نتیجه گیری
۳۰۳	۱-۷ مراجع
۳۰۵	پیوست ها - ریاضیات، روابط و قضایای ضروری در کتاب
۳۰۵	پ-۱ مروری بر کومولانت ها و خواص آنها
۳۰۵	پ-۱-۱ کومولانت یک متغیر تصادفی
۳۰۶	پ-۱-۲ کومولانت توأم چند متغیر تصادفی

- ب-۲ مروری بر توابع مشخصه و قضیه وارونگی ۳۰۷
- ب-۳ برخی قضایای استفاده شده در کتاب ۳۱۰
- ب-۳-۱ قضیه اسلاتسکی ۳۱۰
- ب-۳-۲ قضیه بیشینه‌سازی نسبت رایلی ۳۱۰
- ب-۴ روش تعیین ضرایب در روش PADÉ ۳۱۱
- مراجع ۳۱۲
- واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۳۱۳
- واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۳۱۹
- نمایه ۳۲۵

پیشگفتار

بر اساس آمارهای کمیته فدرال ارتباطات آمریکا^۱ (FCC)، میزان بهره‌برداری (در زمان و مکان) از طیف‌های تخصیص یافته به کاربران دارای مجوز قانونی، بین ۱۵ تا ۸۵ درصد متغیر است؛ این در حالی است که در سال‌های اخیر نهادهای تنظیم‌کننده مقررات دسترسی به طیف، در بازه‌های دسترسی به طیف گرانها و در عین حال محدود الکترومغناطیسی با رشد بی‌سابقه‌ای روبه‌رو بوده‌اند و به همین دلیل، قانون‌گذاران و سیاست‌گذاران بین‌المللی در عرصه مدیریت طیف، به سمت به‌کارگیری الگوهای تخصیص فرکانسی نوین سوق یافته‌اند.

در الگوی جدید تخصیص طیف، برخلاف الگوی سنتی که در آن باندهای فرکانسی فقط به کاربران خاص دارای مجوز (موسوم به کاربران اصلی یا اولیه^۲) تخصیص داده می‌شد، سایر کاربران (موسوم به کاربران ثانویه^۳) نیز می‌توانند با رعایت قوانین سخت‌گیرانه خاصی، به‌طور مشترک از طیف کاربران اولیه استفاده کنند. شیوه کار به‌صورت ساده بدین گونه است که کاربران ثانویه با شناخت محدود اطرافشان و پایش دائمی طیف الکترومغناطیسی می‌توانند در صورتی که یک باند فرکانسی را خالی و بدون استفاده تشخیص دادند، از آن برای ارسال-دریافت استفاده کنند. هم‌چنین به محض تشخیص بازگشت کاربر اصلی به طیف، باید آن‌را در سریع‌ترین زمان ممکن

1. Federal Communications Commission (FCC)

2. Primary Users (PUs)

3. Secondary Users (SUs)

تخلیه نمایند. به این روند در اصطلاح مخابراتی، حسگری طیفی^۱ (SS) می‌گویند که در واقع کاربردی نوین از شیوه‌های آشکارسازی سیگنال می‌باشد.

با توجه به موارد مذکور، نکته اساسی این است که هم‌اکنون قابلیت پایش دائمی و دسترسی فرصت‌طلبانه به طیف الکترومغناطیسی در دستگاه‌های مخابرات بی‌سیم (که به‌طور کلی در این کتاب به آن‌ها رادیو گفته می‌شود)، وجود ندارد و از این‌رو کاربرانی که می‌خواهند از این فناوری نوین استفاده کنند، باید به نسل جدیدی از رادیوها موسوم به رادیوها شناختی^۲ (CR) مجهز شوند. رادیوهای شناختی با قابلیت حسگری طیفی می‌توانند به‌صورت فرستادگانه از طیف الکترومغناطیسی اختصاص یافته به کاربران اولیه، استفاده کنند. شبکه‌های مبتنی بر فناوری رادیوهای شناختی را شبکه‌های رادیویی شناختی^۳ (CRN) می‌نامند.

برای درک بهتر اهمیت CRN، حتماً باید آن را در نظر بگیرید که یک فاجعه طبیعی رخ داده و در اثر آن تمام زیرساخت‌های مخابراتی و حتی اینترنتی موجود در منطقه به‌طور موقت غیرفعال می‌باشند. کارکنان امدادی در این کار در مناطق فاجعه‌زده، نیاز به ایجاد شبکه‌های اورژانس دارند. هم‌چنین ارتباطات ضروری خدمات اورژانس، مقدار قابل توجهی از طیف رادیویی را به‌منظور ارسال حجم بالای ترافیک صدا، ویدئو و داده‌ها اشغال خواهد کرد. در چنین شرایطی، CRNها می‌توانند بدون نیاز به زیرساخت‌های پرهزینه، از طیف موجود به‌صورت کارا استفاده کنند. برای مدتی دیگر یک CRN می‌تواند شرایطی فراهم آورد که رادیوهای نظامی بتوانند فرکانس‌های مورد نیاز خود را طوری انتخاب کنند که با استفاده از روش‌های کدگذاری/مدولاسیون مناسب، در محیط رادیویی متغیر میدان جنگ به مبادله اطلاعات بپردازند.

کتاب حاضر، روش‌های مختلف حسگری طیفی را معرفی می‌کند و از آنجایی‌که

1. Spectrum Sensing (SS)
2. Cognitive Radio (CR)
3. Cognitive Radio Network (CRN)

این مباحث بر پایه نظریه آشکارسازی سیگنال بنا می‌شوند، به‌طور طبیعی مخاطبان اصلی آن دانشجویان و دانش‌آموختگان دوره‌های تحصیلات تکمیلی مهندسی برق با زمینه کاری و تحقیقاتی پردازش سیگنال آماری، به‌ویژه نظریه آشکارسازی سیگنال، می‌باشند.

ساختار کتاب و فصول مختلف آن به شرح ذیل معرفی می‌شود:

بخش اول، حسگرهای طیفی غیرمشارکتی که شامل فصل‌های ذیل می‌باشد:

- **فصل اول: دسترسی طیفی پویا و فناوری رادیوی شناختی:** در این فصل مشکلات الگوی دسترسی تخصیص طیف فرکانسی توضیح داده شده و سپس روش دسترسی طیفی پویا به عنوان راه‌حلی برای رفع آن‌ها معرفی می‌گردد. در ادامه، فناوری رادیوی شناختی به عنوان ابزار تحت دسترسی طیفی پویا تشریح می‌گردد. در نهایت نیز حسگری طیفی، که مهم‌ترین قابلیت ویژگی متمایز رادیوهای شناختی است، معرفی می‌شود.

- **فصل دوم: مروری بر نظریه آشکارسازی سیگنال:** حسگری طیفی کاربردی نوین از نظریه کلاسیک آشکارسازی سیگنال است که به‌طور سنتی بیشتر در مباحث رادار، سونار و دمدولاسیون کاربرد دارد. از آن‌جایی که برای فهم حسگری طیفی، خواننده باید به‌طور کامل با مباحث آشکارسازی سیگنال و پردازش سیگنال آماری آشنا باشد، در این فصل مباحث پایه‌ای آشکارسازی سیگنال به اختصار ارائه می‌گردد؛ البته خواننده برای مطالعه بیشتر باید به کتاب‌های مرجع در این زمینه مراجعه نماید.

- **فصل سوم، حسگری طیفی غیرمشارکتی:** در این فصل روش‌های متداول برای حسگری طیفی محلی در یک رادیوی شناختی مطالعه می‌شود. به‌ویژه روش آشکارسازی ویژگی ایستادن چرخشی (CSD) بیان می‌شود و روابط تحلیلی کارایی آن استخراج می‌گردد. هم‌چنین روش آشکارسازی ویژگی ایستادن چرخشی عزمی - صادقی (Sadeghi et al, 2014: 5)، که دارای پیچیدگی کمتری نسبت به روش‌های مرسوم

می‌باشد، در این فصل معرفی شده است. به‌علاوه برخی دیگر از روش‌های حسگری محلی نیز معرفی و کارایی آن‌ها بررسی می‌شود. در انتهای این فصل نیز چند شیوه جدید حسگری محلی CSD که در سال‌های اخیر مطرح شده‌اند، معرفی و شبیه‌سازی می‌شوند.

حسگری طیفی مشارکتی است که فصول آن عبارت است از:

- **فصل چهارم، مروری بر آشکارسازی توزیع‌شده:** حسگری طیفی مشارکتی در واقع کاربردی نوین از نظریه کلاسیک آشکارسازی توزیع‌شده و جوش داده‌ها است. از این رو باید پیش از مطالعه روش‌های حسگری مشارکتی، خواننده با موضوعات مربوط به آشکارسازی مشارکتی و جوش داده‌ها آشنا باشد. بر همین اساس، در این فصل روش‌های عمده آشکارسازی توزیع‌شده و اصول طراحی قانون‌های جوش معرفی می‌گردد. قانون‌های جوش در این فصل بر اساس معیار بیزی استخراج می‌شوند. در این راستا قانون جوش بهینه تصمیم‌های مشارکتی در حسگری توزیع‌شده، موسوم به Chair-Varshney با جزئیات بررسی می‌گردد.

در ادامه این فصل، قانون‌های جوش بیزی برای سه نوع شبکه موازی، سریال و درختی استخراج می‌شوند. هم‌چنین آشکارسازی توزیع‌شده با محدودیت نرخ هشدار غلط ثابت نیز بررسی و روابط آشکارسازی توزیع‌شده و قانون جوش داده‌ها تحت معیار نیمین-پیرسون به‌صورت تحلیلی معرفی می‌شوند. به‌علاوه روابط قانون جوش در حالت ضعیف بودن سیگنال‌های دریافتی نیز به‌عنوان حالتی خاص ارائه می‌گردد.

- **فصل پنجم، حسگری طیفی مشارکتی:** در ادامه مباحث مطرح شده در فصل چهارم و پس از آشنایی با مباحث نظریه آشکارسازی توزیع‌شده در شبکه‌های حسگری، در این فصل حسگری مشارکتی به‌عنوان کاربردی نوین از این نظریه معرفی می‌گردد. هم‌چنین به‌طور ویژه، چهار روش اصلی حسگری مشارکتی مبتنی بر آشکارساز انرژی، CSD، خوبی برازش و ماتریس کوواریانس بررسی می‌شوند.

• فصل ششم، حسگری مشارکتی سیگنال‌های ایستان چرخشی: در این فصل، حسگری طیفی مشارکتی مبتنی بر CSD مطرح و بررسی می‌شود. هم‌چنین روش‌های جدید برای جوش تصمیم‌های نرم بررسی شده و کارایی آن ارزیابی می‌گردد. به‌علاوه روش حسگری مشارکتی نرم وزن‌دار برای حالت کانال‌های گزارش غیرایده‌آل مرور می‌گردد. در این راستا، هر دو حالت وجود CSI کامل و ناقص^۱ بحث می‌شوند. هم‌چنین روش‌هایی که به‌تازگی برای امکان‌پذیری انجام آزمون فرض در مرکز جوش (انحساب مقادیر آستانه)، توسعه داده شده‌اند، معرفی و کارایی آن‌ها در کانال‌های گزارش تداوم^۲ محوشدگی ناکاگامی- m و حالت خاص کانال رایلی بررسی می‌شوند.

امید است این کتاب مورد توجه علاقه‌مندان و مخاطبان قرار گیرد. از آن‌جایی‌که هیچ تلاشی بی‌عیب و نقص نیست، ارادت‌آدان، صاحب‌نظران و دانشجویان عزیز که کتاب حاضر را مطالعه می‌نمایند، تقاضا می‌شود، پیشنهادهای، خطاها یا ابهاماتی که در متن مشاهده می‌نمایند را به اطلاع نگارندگان به نشانی pazmi@modares.ac.ir برسانند تا در ویرایش‌های آتی کتاب نسبت به اصلاح آن‌ها اقدام گردد.

دکتر پائیز پازمی - دکتر حامد صادقی