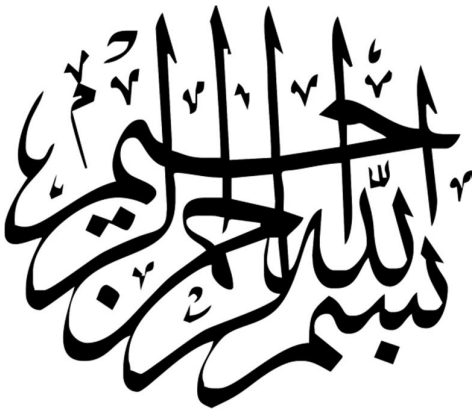
بسم الله الرحمن الرحيم

حسگری طیفی
در شبکه‌های رادیوی شناختی

نگارندگان

دکتر پائیز عزمی
استاد دانشگاه تربیت مدرس

دکتر حامد صادقی

1396

سرشناسه: عزمی، پائیز، 1353 -
عنوان و نام پدیدآور: حسگری طیفی در شبکه‌های رادیوی شناختی/ نگارندگان پائیز عزمی، حامد صادقی.
مشخصات نشر: تهران: دانشگاه تربیت مدرس، مرکز نشر آثار علمی، 1396.
مشخصات ظاهری: 351 ص.: مصور، جدول، نمودار (بخشی رنگی).
شابک: 978-600-7589-44-1
وضعیت فهرست نویسی: فیپا
یادداشت: واژه‌نامه.
یادداشت: کتابنامه.
یادداشت: نمایه.
موضوع: شبکه‌های رادیوشناختی
موضوع: Cognitive radio networks
موضوع: مدیریت منابع رادیویی (ارتباطات بی‌سیم)
موضوع: Radio resource management (Wireless communications)
موضوع: شبکه‌های حسگر بی‌سیم
موضوع: Wireless sensor networks
موضوع: آشکارسازی سیگنال‌ها
موضوع: Signal detection
شناسه افزوده: صادقی، حامد، 1362 -
شناسه افزوده: دانشگاه تربیت مدرس. مرکز نشر آثار علمی
شناسه افزوده: Tarbiat Modares University. TMU Press
رده‌بندی کنگره: 1396 5ح ٤ع/TK5103/4815
رده‌بندی دیویی: 621/384
شماره کتابشناسی ملی: 4667564

حسگرهای طیفی در شبکه‌های رادیوی شناختی
نگارندگان: دکتر پائیز عزمی، دکتر حامد صادقی
ویراستار ادبی و فنی: لیلا نجفی زمان
اجرای جلد: مصطفی جانجانی
حروفچینی: فرشته نجفی
شماره انتشار: 213
شماره پیاپی: 261
تاریخ انتشار: 1396
شمارگان: 1000
شابک: 978-600-7589-44-1 ISBN: 978-600-7589-44-1
ناشر: مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرّس
نوبت 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 مدرّس، مرکز نشر آثار علمی، صندوق پستی: 318-14115
تلفن: 82883096 دورنگار: 82883032
بها: 250000 ریال

صحت مطالب کتاب برعهدهٔ نگارندگان است.

تقدیم به:

همسر عزیز و مهربانم و فرزندان نازنین و دلبندم آرتین و آوین که با از خودگذشتگی آرامش و آسایش لازم برای فعالیت های علمی را به من هدیه نمودند.

پائیز عزمی

روح پاک مادرم، اسطوره ایثار و محبت

و همسر مهربانم و فرزند عزیزتر از جانم محمدطه

حامد صادقی

فهرست مطالب

فهرست اختصارات ..... **ز**

فهرست علائم، نشانه‌ها و شاخص‌ها ..... **ط**

پیشگفتار ..... **ک**

بخش اول - حسگری طیفی غیرمشارکتی

۱- دسترسی طیفی پویا و فناوری رادیوی شناختی **۳**

۱-۱ مقدمه ۳

۱-۲ سامانه‌های رادیویی به اشتراک‌گذاری طیف ۹

۱-۲-۱ رادیوی شناختی ۱۲

۱-۳ شبکه‌های رادیوی شناختی ۱۳

۱-۳-۱ حسگری طیفی در لایهٔ فیزیکی ۱۶

۱-۳-۲ حسگری طیفی در لایه MAC ۱۷

۱-٤ نتیجه‌گیری ۲۰

۱-۵ مراجع ۲۱

۲- مروری بر مبانی آشکارسازی سیگنال **۲۳**

۲-۱ معرفی ۲۳

۲-۲ حسگری طیفی به‌عنوان یک مسئله آزمون فرض ۲۵

۲-۳ آزمون فرض دوتایی (باینری) ۲۶

۲-۳-۱ آزمون فرض ساده ۳۱

۲-۳-۱-۱ روش بیزی ۳۱
۲-۳-۲ آزمون فرض مرکب ٤٤
۲-۳-۲-۱ روش بیزی ٤٦
۲-۳-۲-۲ روش GLRT ٤٧
۲-٤ نتیجه‌گیری ٤٩
۲-۵ مراجع ٤٩
۳- حسگری طیفی (غیرمشارکتی) ۵۱
۳-۱ معرفی ۵۱
۳-۲ مروری بر روش‌های حسگری طیفی ۵۲
۳-۲-۱ آشکارسازی فرستنده ۵۳
۳-۲-۱-۱ فیلتر منطبق ۵٤
۳-۲-۱-۲ آشکارساز ویژگی ایستان چرخشی ۵۵
۳-۲-۱-۳ آشکارساز انرژی ۵٦
۳-۲-۲ آشکارسازی مشارکتی ۵٦
۳-۲-۳ آشکارسازی بر مبنای دمای تداخل ۵۸
۳-۲-٤ آشکارسازی توان نشتی نوسانگر محلی ۵۹
۳-۲-۵ آشکارسازی چند آنتنی ٦۰
۳-۳ پیاده‌سازی روش‌های حسگری طیفی غیرمشارکتی ٦۱
۳-۳-۱ آشکارساز انرژی ٦۱
۳-۳-۲ آشکارساز ویژگی ایستان چرخشی ٦۷
۳-۳-۲-۱ تعاریف اولیه ٦۷
۳-۳-۲-۲ ویژگی ایستان چرخشی سیگنال‌های OFDM ۷۱
۳-۳-۲-۳ روش عزمی- صادقی برای حسگری طیفی ویژگی ایستان چرخشی ۷٤
۳-۳-۲-۳-۱ روابط تحلیلی کارایی آشکارسازی و انتخاب مقدار آستانه ۸۳
۳-۳-۲-۳-۲ توسعه به آشکارساز چندچرخه‌ای ۸٤

۳-۳-۲-۳-۳ روش تعیین مقدار آستانه ۸۵
۳-۳-۲-٤ سایر روش‌های آشکارسازی ویژگی ایستان چرخشی ۸۷
۳-۳-۲-٤-۱ روش LUNDEN-KOIVUNEN (روش LK) ۸۷
۳-۳-۲-٤-۲ روش DERAKHSHANI-LE NGOC ۱۰٦
۳-۳-۲-٤-۳ روش TANNI-FANTACCI ۱۰۷
۳-۳-۲-٤-٤ روش JALLON ۱۰۸
۳-۳-۲-۵ بحث و نتایج شبیه‌سازی‌ها ۱۱۰
۳-۳-۲-۵-۱ تأثیر سرعت کاربر ثانویه بر آشکارسازی ۱۱٤
۳-۳-۲-۵-۲ شبیه‌سازی کارایی آشکارساز عزمی- صادقی و مقایسه با سایر روش‌ها ۱۱٦
۳-۳-۳ آزمون نکویی برازش (GOF) ۱۲۲
۳-۳-٤ آشکارسازی ویژگی ماتریس کواریانس سیگنال ۱۲۸
۳-۳-٤-۱ آشکارساز مقدار مطلق کوواریانس ۱۲۹
۳-۳-٤-۱ آشکارساز کوواریانس مبتنی بر مقادیر مشخصه ۱۳۳
۳-٤ نتیجه‌گیری ۱۳٦
۳-۵ مراجع ۱۳۸

بخش دوم - حسگری طیفی مشارکتی

٤- مروری بر آشکارسازی توزیع‌شده ۱٤۷
٤-۱ آشکارسازی بیزی توزیع‌شده در شبکه‌های جوش موازی ۱٤۸
٤-۱-۲ طراحی قانون‌های جوش ۱۵۲
٤-۱-۲-۱ قانون جوش برای حالت تصمیم‌های نرم ۱۵۵
٤-۱-۲-۲ قانون جوش با مشاهدات مستقیم ۱۵۵
٤-۱-۲-۳ قانون جوش برای تصمیم‌های غیرهم‌زمان ۱۵٦
٤-۱-۳ آشکارسازی بهینه در شبکهٔ جوش موازی ۱۵۸
٤-۲ آشکارسازی بیزی توزیع‌شده در سایر توپولوژی‌های شبکه‌ها ۱٦۳
٤-۲-۱ شبکهٔ سریال ۱٦٤

٤-٢-٢ شبکه‌های درختی ١٦٧
٤-٢-٣ شبکه‌های آشکارسازی با پس‌خورد ١٧٠
٤-٢-٤ حالت کلی شبکه‌های آشکارسازی ١٧٧
٤-٣ آشکارسازی توزیع‌شده با قید نرخ هشدار غلط ١٨٥
٤-٣-١ آشکارسازی نیمن- پیرسون توزیع‌شده ١٨٥
٤-٣-٢ آشکارسازی توزیع‌شدهٔ سیگنال‌های ضعیف ١٨٨
٤-٤- نتیجه‌گیری ١٩٠
٤-٥ مراجع ١٩١

٥- حسگری طیفی مشارکتی ١٩٣
٥-١ معرفی ١٩٣
٥-٢ فرض‌ها و تعاریف اولیه ١٩٨
٥-٣ دسته‌بندی تحقیقات موجود در زمینه حسگری مشارکتی ١٩٩
٥-٣-١ حسگری مشارکتی مبتنی بر آشکارسازی انرژی ٢٠٥
٥-٣-٢ حسگری مشارکتی ویژگی ایستان چرخشی ٢٠٦
٥-٣-٢-١ روش سانسور در حسگری مشارکتی ٢٠٩
٥-٣-٣ حسگری مشارکتی مبتنی بر آزمون نکویی برازش ٢١٧
٥-٣-٤ حسگری مشارکتی مبتنی بر ماتریس کوواریانس ٢١٧
٥-٤ نتیجه‌گیری ٢١٨
٥-٥ مراجع ٢١٩

٦- حسگری مشارکتی نرم برای سیگنال‌های ایستان چرخشی ٢٢٥
٦-١ مقدمه ٢٢٥
٦-٢ مدل سیستم ٢٢٩
٦-٣ روش حسگری مشارکتی LUNDEN-KOIVUNEN ٢٣٠
٦-٤ روش حسگری مشارکتی عزمی- صادقی ٢٣٥
٦-٤-١ با فرض کانال‌های گزارش ایده‌آل ٢٣٥

٦-٤-١-١ ارزیابی کارایی آشکارساز مشارکتی ٢٤١
٦-٤-١-١-١ روش انتخاب مقدار آستانه ٢٤١
٦-٤-١-١-٢ تحلیل کارایی به‌صورت تحلیلی ٢٤٣
٦-٤-١-٢ نتایج شبیه‌سازی‌ها ٢٤٦
٦-٤-١-٣ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ٢٥٠
٦-٤-٢ با فرض کانال‌های گزارش غیرایده‌آل ٢٥١
٦-٤-٢-١ حالت ضرایب محوشدگی معلوم ٢٥١
٦-٤-٢-١-١ روش انتخاب مقدار آستانه در مرکز جوش ٢٥٧
٦-٤-٢-١-٢ نتایج شبیه‌سازی‌ها ٢٦٠
٦-٤-٢-٢ حالت ضرایب محوشدگی نامعلوم ٢٦٧
٦-٤-٢-٢-١ روش تحلیلی انتخاب مقدار آستانه برای کانال‌های رایلی ٢٧١
٦-٤-٢-٢-٢ روش تحلیلی انتخاب مقدار آستانه برای سایر توزیع‌های ٢٧٥
٦-٤-٢-٢-١ استخراج روابط تحلیلی ممان‌های متغیر تصمیم مرکز جوش ٢٧٦
٦-٤-٢-٢-٢ روش تعیین مقادیر آستانه در مرکز جوش ٢٧٩
٦-٤-٢-٣ نتایج شبیه‌سازی‌ها ٢٨٨
٦-٤-٢-٣-١ حالت کانال‌های گزارش رایلی تخت ٢٨٨
٦-٤-٢-٣-٢ حالت کانال‌های گزارش ناکاگامی- M ٢٩٣
٦-٥ نتیجه‌گیری ٢٩٥
٦-٦ مراجع ٢٩٦

٧- نتیجه‌گیری ٢٩٩
٧-١ مراجع ٣٠٣

پیوست‌ها - ریاضیات، روابط و قضایای ضروری در کتاب ٣٠٥
پ-١ مروری بر کومولانت‌ها و خواص آن‌ها ٣٠٥
پ-١-١ کومولانت یک متغیر تصادفی ٣٠٥
پ-١-٢ کومولانت توأم چند متغیر تصادفی ٣٠٦

پ-۲ مروری بر توابع مشخصه و قضیه وارونگی ۳۰۷
پ-۳ برخی قضایای استفاده شده در کتاب ۳۱۰
پ-۳-۱ قضیه اسلاتسکی ۳۱۰
پ-۳-۲ قضیه بیشینه‌سازی نسبت رایلی ۳۱۰
پ-٤ روش تعیین ضرایب در روش PADÉ ۳۱۱
مراجع ۳۱۲

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۳۱۳

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۳۱۹

نمایه ۳۲۵

فهرست اختصارات

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AD	Anderson-Darling
AF	Amplify-and-Forward
AP	Access Point
ATSC	Advanced Television Systems Committee
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BS	Base Station
CAF	Cyclic Autocorrelation Function
CAV	Covariance Absolute Value
CDF	Cumulative Distribution Function
CDMA	Code Division Multiple Access
CF	Cycle Frequency
CFAR	Constant False Alarm Rate
CPE	Consumer Premise Equipment
CR	Cognitive Radio
CRN	Cognitive Radio Network
CROC	Complementary Receiver Operating Characteristic
CS	CycloStationary
CSD	CycloStationary Detection
CSS	Cooperative Spectrum Sensing
dB	Decibel
DC	Deflection Coefficient
DTV	Digital TV
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial
ED	Energy Detection
EGC	Equal Gain Combining
FA	False Alarm
FC	Fusion Center
FFT	Fast Fourier Transform
GLLR	Generalized Log-Likelihood Ratios
GLRT	Generalized Likelihood Ratio Test
GMSK	Gaussian Minimum-Shift Keying
GoF	Goodness-of-Fit
i.i.d	Identical and Independent Distributed

LAN	Local Area Network
LK	Lunden-Koivunen
LLR	Log-Likelihood Ratio
LR	Likelihood Ratio
LRT	Likelihood Ratio Test
LTE	Long-Term Evolution
m.s.s.	Mean-Square Sense
MC	Multi-Cycle
MDC	Modified Deflection Coefficient
MGF	Moment Generating Function
ML	Maximum Likelihood
MMSE	Minimum Mean Squared Estimation
MRC	Maximal Ratio Combining
MSE	Mean-Squared Error
N-P	Neyman-Pearson
NP	**N**on-deterministic **P**olynomial-time
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PBPO	Person-By-Person Optimization
PDF	Probability Density Function
PU	Primary User
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
ROC	Receiver Operating Characteristic
SC	Single-Cycle
SNR	Signal to Noise Ratio
SSC	Switch-and-Stay Combining
SU	Secondary User
UWB	Ultra Wide-Band
WiMAX	Wireless Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network
WRAN	Wireless Regional Area Network
WSN	Wireless Sensor Network
WSS	Wide-Sence Stationary

فهرست علائم، نشانه‌ها و شاخص‌ها

T_u	Useful symbol length of an OFDM symbol (in seconds)
T_g	Guard interval length of an OFDM symbol (in seconds)
T_s	Total length of an OFDM symbol (in seconds)
N_u	Useful symbol length of an OFDM symbol (in points)
N_g	Guard interval length of an OFDM symbol (in points)
N_s	Total number of subcarriers of an OFDM symbol
N_{fft}	IFFT magnitude of an OFDM symbol (equals to N_s)
N_{occ}	Number of occupied channels (subcarriers) in an OFDM symbol (in points)
8K-mode	Number of carriers in a DVBT transmission, equal to 6817
R_s	Symbol rate (in Symbol/Seconds)
R_{sam}	Sampling rate (in Hz)
α	Cyclic Frequency
$\mathcal{M}_{2x}(\alpha;\tau)$	Cyclic Autocorrelation Function (CAF)
$\widehat{\mathcal{M}}_{2x}(\alpha;\tau)$	Cyclic Autocorrelation Function (CAF) Estimator
λ	Noncentrality parameter (of a noncentral Chi-square variable)
τ	Time delay of Cyclic Autocorrelation Function
η	Threshold of hypothesis test
$\xrightarrow{m.s.s}$	Convergence in mean-square sense
$\xrightarrow{L}$	Convergence in distribution
$\xrightarrow{P}$	Convergence in probability
$\mathcal{H}_0$	Null Hypothesis
$\mathcal{H}_1$	Alternative Hypothesis
$\mathcal{N}(.,.)$	Real Normal (Gaussian) Variable
$\mathcal{CN}(.,.)$	Complex Normal (Gaussian) Variable
χ^2_d	Central Chi-square random variable with d degrees-of-freedom
$\acute{\chi}^2_d(\lambda)$	Noncentral Chi-square random variable with d degrees-of-freedom and noncentrality parameter of λ
P_{d}	Probability of detection
P_{fa} or P_{f}	Probability of false alarm
P_{m}	Probability of missed detection
$\mathcal{D}$	Deflection Coefficient

$Var[.]$	Variance
$E[.]\ Or\ \mathbb{E}[.]$	Statistical Expectation
$Q(.)$	Right-tail probability for a distribution
$Q^{-1}(.)$	Inverse right-tail probability for a distribution
$\mathcal{F}(.)$	CDF for a distribution
$\mathcal{F}^{-1}(.)$	Inverse CDF for a distribution
κ_i	Cumulant of order i
δ_i^2	Noise variance of ith sensing channel
σ_i^2	Noise variance of ith reporting channel
g_i	Fading coefficient of ith sensing channel
h_i	Fading coefficient of ith reporting channel
z_i	AWGN of ith reporting channel
w_i	AWGN of ith sensing channel
$\Phi(.)$	Characteristic Function
$\mathcal{M}_y(s)$	Moment Generating Function (MGF) of positive random variable y
$\mathcal{R}_{[A/B]}(s)$	Padé approximant of order [A/B]

پیشگفتار

براساس آمارهای کمیته فدرال ارتباطات آمریکا[1] (FCC)، میزان بهره‌برداری (در زمان و مکان) از طیف‌های تخصیص‌یافته به کاربران دارای مجوز قانونی، بین ۱۵ تا ۸۵ درصد متغیر است؛ این در حالی‌است که در سال‌های اخیر نهادهای تنظیم‌کننده مقررات دسترسی به طیف، در تقاضای دسترسی به طیف گرانبها و در عین حال محدود الکترومغناطیسی با رشد بی‌سابقه‌ای روبه‌رو بوده‌اند و به‌همین 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[2]) تخصیص داده می‌شد، سایر کاربران (موسوم به کاربران ثانویه[3]) نیز می‌توانند با رعایت قوانین سخت‌گیرانهٔ خاصی، به‌طور مشترک از طیف کاربران اولیه استفاده کنند. شیوه کار به‌صورت ساده بدین‌گونه است که کاربران ثانویه با شناخت محیط اطرافشان و پایش دائمی طیف الکترومغناطیسی می‌توانند در صورتی‌که یک باند فرکانسی را خالی و بدون استفاده تشخیص دادند، از آن برای ارسال-دریافت استفاده کنند. هم‌چنین به‌محض 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*[1] (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 به‌طورکلی 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 رادیوهای شناختی[2] (CR) مجهز شوند. رادیوهای شناختی با قابلیت حسگری طیفی می‌توانند به‌صورت فرصت‌طلبانه از طیف الکترومغناطیسی اختصاص یافته به کاربران اولیه، استفاده کنند. شبکه‌های مبتنی بر فناوری رادیوهای شناختی را *شبکه‌های رادیوی شناختی*[3] (CRN) می‌نامند.

برای درک بهتر اهمیت CRN، حالتی 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 حال 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 بالایی از 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 مثالی دیگر، یک CRN می‌تواند شرایطی فراهم آورد که رادیوهای نظامی بتوانند فرکانس‌های مورد نظر خود را طوری انتخاب کنند که با استفاده از روش‌های کدگذاری/مدولاسیون مناسب، در محیط رادیویی متغیرِ 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 نظریهٔ 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 سنتی تخصیص طیف فرکانسی توضیح داده شده و سپس روش دسترسی طیفی پویا به‌عنوان راه‌حلی برای رفع آن‌ها معرفی می‌گردد. در ادامه، فناوری رادیوی شناختی به‌عنوان ابزار تحقق دسترسی طیفی پویا تشریح می‌گردد. در نهایت نیز حسگری طیفی، که مهم‌ترین قابلیت و ویژگی متمایز رادیوهای شناختی است، معرفی می‌شود.
- **فصل دوم: مروری بر نظریه آشکارسازی سیگنال:** حسگری طیفی کاربردی نوین از نظریهٔ کلاسیک آشکارسازی سیگنال است که به‌طور سنتی بیشتر در مباحث رادار، سونار و دمدولاسیون کاربرد دارد. از آن‌جایی‌که 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 ایستان چرخشی (CSD) بیان می‌شود و روابط تحلیلی کارایی آن استخراج می‌گردد. هم‌چنین روش آشکارسازی ویژگی ایستان 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. ازاین‌رو 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 براساس معیار بیزی استخراج می‌شوند. در این راستا قانون جوش بهینهٔ تصمیم‌های سخت 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 قید نرخ هشدار غلط ثابت نیز بررسی و روابط آشکارسازی توزیع‌شده و قانون جوش داده‌ها تحت معیار نیمن- 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[1] بحث می‌شوند. هم‌چنین روش‌هایی که به‌تازگی برای امکان‌پذیری انجام آزمون فرض در مرکز جوش (انتخاب مقادیر آستانه)، توسعه داده شده‌اند، معرفی و کارایی آن‌ها در کانال‌های گزارش تحت 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، از استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان عزیز که کتاب حاضر را مطالعه می‌نمایند، تقاضا می‌شود پیشنهادها، 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 عزمی- دکتر حامد صادقی

۱۳۹۵

1. Imperfect Channel State Information