

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологическая академия

К. Е. РУМЯНЦЕВ

**АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ
ИСТОЧНИКОВ
ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Учебник

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2019

УДК 621.396.96:621.396.391.26:621.396.624

ББК 32.875я73-5

Р865

Печатается по решению кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем Института компьютерных технологий и информационной безопасности Южного федерального университета (протокол № 27 от 27 марта 2019 г.)

Рецензенты:

заместитель директора по научной работе Ростовского филиала Российской таможенной академии, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук,

профессор *Д. А. Безуглов*

профессор кафедры «Антенны и радиопередающие устройства» Южного федерального университета, заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук,

профессор *В. А. Обуховец*

Румянцев, К. Е.

Р865 Алгоритмы обнаружения источников оптического излучения : учебник / К. Е. Румянцев ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2019. – 232 с.

ISBN 978-5-9275-3201-8

На основе обобщённого подхода к определению временных соотношений при поиске протяжённых проекций мобильных источников лазерного излучения решается задача минимизации энергетических затрат при реализации аппаратуры поиска источника непрерывного и импульсного оптического излучения в аналоговом или цифровом виде. Обосновывается структура оптимальных обнаружителей при медленных и быстрых изменениях фоновой обстановки при использовании в качестве сканирующих фотоприёмников диссекторов.

Дана методика проектирования диссекторной аппаратуры поиска и обнаружения оптического излучения. Задание предусматривает выбор и описание лазерной системы связи с аппаратурой пространственного поиска источника оптического излучения, обоснование стратегии взаимного поиска корреспондентов в режиме вхождения в связь, синтез алгоритма обнаружения сигнала, расчёт параметров аппаратуры поиска, формирование требований к узлам диссекторной аппаратуры. Приведён пример проектирования аппаратуры поиска оптического излучения с модуляцией мощности колебанием поднесущей частоты.

Синтезированы устойчивые алгоритмы обнаружения лазерного излучения в условиях изменений фоновой обстановки в месте приёма. Обоснованы структуры адаптивных и робастных обнаружителей.

Учебник предназначается для студентов, обучающихся по специальности 10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем.

УДК 621.396.96:621.396.391.26:621.396.624

ББК 32.875я73-5

ISBN 978-5-9275-3201-8

© Южный федеральный университет, 2019

© Румянцев К. Е., 2019

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	5
СПИСОК ОСНОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	6
ВВЕДЕНИЕ	10
ЧАСТЬ 1. СТРУКТУРА И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБНАРУЖИТЕЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МОДУЛЯЦИЕЙ МОЩНОСТИ СИГНАЛОМ ПОДНЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ	12
1. МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ИСТОЧНИКА НЕПРЕРЫВНОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МОДУЛЯЦИЕЙ МОЩНОСТИ КОЛЕБАНИЕМ ПОДНЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ	12
1.1. Модель оптического излучения с модуляцией мощности колебанием поднесущей частоты.....	12
1.2. Сигнальная модель системы поиска источника оптического излучения с модуляцией мощности колебанием поднесущей частоты	14
1.3. Шумовая модель фотоприёмного канала системы поиска источника оптического излучения с модуляцией мощности колебанием поднесущей частоты.....	18
1.4. Огибающая и фаза случайного процесса на выходе полосового фильтра поднесущей частоты	24
1.5. Структура обнаружителя оптического излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты.....	25
1.6. Эффективность обнаружения источника оптического излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты.....	27
1.7. Отношение сигнал/шум на выходе детектора комплексной огибающей.....	31
2. ДИССЕКТОРНАЯ АППАРАТУРА ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МОДУЛЯЦИЕЙ МОЩНОСТИ СИГНАЛОМ ПОДНЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ	33
2.1. Структура диссекторной аппаратуры поиска источников оптического излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты.....	33
2.2. Временные параметры диссекторной аппаратуры поиска источника оптического излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты.....	34

2.3. Энергетический ресурс диссекторной аппаратуры поиска источника оптического излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты.....	38
2.4. Эффективность обнаружения источника оптического излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты.....	39
2.5. Оптимизация параметров диссекторной аппаратуры.....	40
2.6. Выбор размеров и формы апертуры диафрагмы диссектора.....	44
2.7. Требования к приёмной антенне поискового комплекса.....	48
2.8. Структура системы поиска источника излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты на основе диссектора с цифровым блоком сканирования пространства.....	54
2.9. Аппаратура поиска источника излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты с оптико-механической развёрткой по кадру.....	59
2.10. Аналоговая аппаратура поиска излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты.....	60
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИССЕКТОРНОЙ АППАРАТУРЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МОДУЛЯЦИЕЙ МОЩНОСТИ КОЛЕБАНИЕМ ПОДНЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ.....	66
3.1. Исходные данные	66
3.2. Задание на проектирование.....	66
3.3. Анализ задания на проектирование.....	67
3.4. Выбор лазерной системы спутниковой связи.....	68
3.5. Разработка структурной схемы системы связи с аппаратурой поиска источника оптического излучения.....	76
3.6. Обоснование стратегии взаимного поиска корреспондентов.....	82
3.7. Параметры диссектора ЛИ-607 и ФОС-46Д.....	88
3.8. Выбор оптической антенной системы.....	88
3.9. Модель фотоприёмного канала поисковой системы на основе диссектора с модуляцией мощности оптического излучения колебанием поднесущей частоты.....	89
3.10. Обоснование структуры обнаружителя оптического излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты.....	92
3.11. Эффективность обнаружения источника оптического излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты.....	95

3.12. Расчёт пространственно-временных параметров диссекторной аппаратуры поиска оптического излучения с модуляцией мощности колебанием поднесущей частоты.....	96
3.13. Расчёт энергетических параметров диссекторной аппаратуры пространственного поиска оптического излучения с модуляцией мощности колебанием поднесущей частоты.....	101
3.14. Формулирование требований к отдельным узлам диссекторной аппаратуры многокадрового пространственного поиска оптического излучения с модуляцией мощности колебанием поднесущей частоты.....	105
3.15. Передача оптическим маяком поискового комплекса дополнительной информации.....	107
ЧАСТЬ 2. УСТОЙЧИВЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МОДУЛЯЦИЕЙ МОЩНОСТИ СИГНАЛОМ ПОДНЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ	109
4. АДАПТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МОДУЛЯЦИЕЙ МОЩНОСТИ СИГНАЛОМ ПОДНЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ.....	109
4.1. Особенности обнаружения лазерного излучения в условиях изменений фоновой обстановки в месте приёма.....	109
4.2. Технические решения по адаптации обнаружения лазерного излучения к условиям априорной неопределённости в отношении фонового излучения и внутренних шумов.....	112
4.3. Особенности обнаружения лазерного излучения с параметрической априорной неопределённостью.....	125
4.4. Инвариантный алгоритм обнаружения с частотным формированием классифицируемой выборки шума.....	126
5. РОБАСТНЫЙ ОБНАРУЖИТЕЛЬ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С МОДУЛЯЦИЕЙ МОЩНОСТИ СИГНАЛОМ ПОДНЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ФОРМИРОВАНИЕМ ОТСЧЁТОВ.....	139
5.1. Робастный алгоритм обнаружения с пространственным формированием отсчётов.....	139
5.2. Структура цифрового робастного обнаружителя.....	151
5.3. Проектирование блока формирования порогового уровня.....	153

5.4. Особенности функционирования робастных решающих правил с пространственным формированием выборки шума.....	157
ЧАСТЬ 3. АППАРАТУРА ПОИСКА ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОДНОФОТОННЫХ ФОТОДЕТЕКТОРОВ	
6. ПОИСК И ОБНАРУЖЕНИЕ НЕМОДУЛИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕЖИМЕ СЧЁТА ФОТОНОВ.....	159
6.1. Структура оптимального приёмника в режиме счёта фотонов.....	159
6.2. Параметры диссекторной аппаратуры поиска немодулированного оптического излучения.....	165
6.3. Расчёт параметров цифрового диссекторного астродатчика, работающего в режиме счёта фотонов.....	171
6.4. Поиск целей в условиях изменяющейся фоновой обстановки.....	179
6.5. Рандомизированная процедура принятия решений.....	182
6.6. Алгоритмы обнаружения неймановской структуры.....	184
7. ОБНАРУЖИТЕЛЬ ПАЧКИ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ.....	193
7.1. Структура оптимального обнаружителя в режиме счёта фотонов с априорно известными параметрами.....	194
7.2. Неймановский алгоритм обнаружения.....	196
7.3. Эффективность алгоритма обнаружения.....	202
7.4. Структура обнаружителя последовательности оптических импульсов.....	203
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	207
ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ.....	208
ГЛОССАРИЙ.....	210
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	211
Приложение 1. Контрольные вопросы по теме «Структура и эффективность обнаружителя оптического излучения с модуляцией мощности сигналом поднесущей частоты».....	211
Приложение 2. Контрольные вопросы по теме «Аппаратура поиска источников оптического излучения на основе однофотонных фотоприёмников».....	214
Приложение 3. Программа расчёта вероятностных характеристик обнаружителя немодулированного излучения в режиме счёта фотонов.....	220
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	225