

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
<b>1. Общие сведения о системах связи 6G.....</b>	<b>6</b>
1.1. Системы связи 6G.....	6
1.2. Основные технологии, планируемые к использованию в системах 6G.....	10
1.3. Потенциальные технологии.....	15
1.3.1. Спутниковая связь.....	15
1.3.2. Подводная связь.....	20
1.3.3. Основы квантовых технологий и квантовой связи.....	22
1.3.4. Технологии блокчейн.....	28
1.4. Определение местоположения в системах 6G.....	31
1.5. Электромагнитная безопасность систем 5G и 6G.....	33
1.5.1. Ослабление электромагнитных волн при их распространении в пространстве.....	34
1.5.2. Измерение воздействия электромагнитного излучения.....	36
1.5.3. Особенности систем 6G.....	37
1.6. Использование интеллектуальных отражающих поверхностей в системах 6G.....	39
1.7. Орбитальная угловая моментная связь.....	40
1.8. Методы организации дуплекса в системах 6G.....	42
<b>2. Применение методов машинного обучения в системах мобильной связи.....</b>	<b>46</b>
2.1. Общие сведения об искусственном интеллекте и методах машинного обучения.....	46
2.2. Обучение с учителем и без учителя.....	48
2.2.1. Линейная классификация данных.....	49
2.2.2. Нелинейная классификация данных.....	55
2.2.3. Пример классификации данных.....	56

2.2.4. Критерии и типы классификации данных . . . . .	59
2.3. Общая постановка задачи адаптации модуляции и кодирования с помощью методов машинного обучения. . . . .	64
2.4. Адаптация методов модуляции и кодирования на основе метода опорных векторов SVM . . . . .	70
2.5. Использование методов машинного обучения в алгоритмах демодуляции для систем ММО . . . . .	79
2.5.1. Модель системы ММО, использующей АЦП с низким разрешением . . . . .	80
2.5.2. Алгоритм демодуляции системы ММО, основанный на машинном обучении с учителем . . . . .	82
2.5.3. Пример алгоритма демодуляции с низкой вычислительной сложностью . . . . .	88
2.6. Машинное обучение в системах 5G . . . . .	93
2.6.1. Данные сетевого уровня . . . . .	94
2.6.2. Данные уровня пользователей и управление сетью . . . . .	97
2.6.3. Безопасность сети . . . . .	98
2.7. Искусственный интеллект в системах 6G . . . . .	99
2.7.1. Применение искусственного интеллекта в системах беспроводной связи . . . . .	100
2.7.2. Граничный интеллект . . . . .	104
<b>3. Особенности связи в терагерцовом диапазоне частот . . . . .</b>	<b>111</b>
3.1. Общие сведения о связи в терагерцовом диапазоне частот . . . . .	111
3.2. Спектр и проблема пропускной способности в системах 6G . . . . .	113
3.3. Распространение радиоволн в терагерцовом диапазоне частот . . . . .	117
3.3.1. Спектр в терагерцовом диапазоне частот . . . . .	117
3.3.2. Проблема потерь в свободном пространстве в миллиметровом и терагерцовом диапазонах . . . . .	118
3.3.3. Потери при распространении радиоволн . . . . .	120
3.3.4. Пути решения проблем, связанных с реализацией связи в миллиметровом и терагерцовом диапазонах . . . . .	125
3.4. Общие сведения о модели канала . . . . .	128
3.5. Направления исследований использования терагерцового диапазона частот в будущих системах связи 6G . . . . .	130

<b>4. Технологии атмосферной оптической передачи информации в системах 6G</b> .....	132
4.1. Общие сведения об атмосферных оптических системах связи .....	132
4.2. Структура системы .....	134
4.3. Модели каналов .....	136
4.4. Методы модуляции .....	140
4.4.1. Простейшие методы модуляции .....	141
4.4.2. Ортогональные методы модуляции .....	143
4.4.3. Неортогональный доступ в оптических системах VLC .....	145
4.5. Совместное использование технологий радиосвязи и атмосферной оптической передачи информации в системах 6G .....	145
4.6. Области применения .....	147
4.6.1. Связь с автономными подвижными объектами .....	147
4.6.2. Подводная связь .....	148
4.6.3. Определение местоположения объектов внутри помещений .....	150
4.6.4. Связь на близкие расстояния .....	151
4.6.5. Связь на дальние расстояния .....	152
<b>5. Определение местоположения в системах мобильной связи</b> .....	154
5.1. Постановка задачи определения местоположения в системах связи и основные подходы к ее решению .....	155
5.2. Задача совместного обеспечения связи и определения местоположения в системах миллиметрового диапазона .....	157
5.3. Определение местоположения в системах миллиметрового диапазона .....	159
5.4. Задача определения местоположения в системах субмиллиметрового и терагерцового диапазонов .....	162
5.5. Слежение за местоположением абонентских устройств .....	169
<b>6. Новые технологии обработки сигналов в системах с многими несущими</b> .....	171
6.1. Общие сведения о технологиях связи со многими несущими .....	171
6.2. Технологии передачи сигналов со многими несущими и фильтрацией FMC .....	173

6.2.1. Технология FBMC .....	173
6.2.2. Технология UFMC .....	174
6.2.3. Технология GFDM .....	174
6.2.4. Технология BFDM .....	176
6.3. Методы снижения пик-фактора .....	176
6.3.1. Методы, основанные на внесении искажений в сигнал .....	177
6.3.2. Методы, не использующие искажения сигнала .....	179
6.3.3. Методы, основанные на внесении предискажений в сигнал, и методы, основанные на расширении спектра сигнала .....	181
6.4. Сравнение различных методов передачи сигналов со многими несущими .....	181
<b>7. Общие сведения о неортогональном множественном доступе (NOMA) .....</b>	<b>183</b>
7.1. Поколения систем мобильной связи и методы ортогонального (OMA) и неортогонального (NOMA) доступа .....	183
7.2. Спектральная эффективность систем OMA и NOMA .....	186
7.2.1. Линия «вниз» .....	187
7.2.2. Линия «вверх» .....	190
7.3. Система NOMA с разделением по мощности. Алгоритм последовательного исключения помех SIC .....	192
7.3.1. Линия «вниз» .....	192
7.3.2. Линия «вверх» .....	195
7.4. Системы NOMA с кодовым разделением .....	197
7.4.1. Системы LDS-CDMA .....	197
7.4.2. Системы SCMA .....	198
7.4.3. Системы IDMA .....	199
7.5. Совместное использование технологий MIMO и NOMA .....	200
7.5.1. Анализ возможностей совмещения MIMO и NOMA .....	201
7.5.2. Пример системы MIMO-NOMA, работающей в режиме направленной передачи (Beamforming) .....	203
7.5.3. Проблема распределения ресурсов в системах MIMO-NOMA .....	205
7.6. Преимущества и недостатки NOMA .....	206
Заключение .....	208

---

Приложение. Общие сведения о матрицах, а также сведения о комплексных случайных величинах, векторах и матрицах	210
Литература .....	214
Список сокращений .....	238