

Раздел 1. Вводный

Лекция 1. Обзорная

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Курс подготовлен в лаборатории физических основ и технологий беспроводных сетей при радиофизическом факультете Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского при поддержке корпорации Интел.

Настоящий курс является свободным изложением обзорного курса, разработанного и читаемого в США.

В качестве обзорного курса нами выбран наиболее близкий к тематике лаборатории разработанный по заказу «The Intel®High Education Program» в WINLAB (Wireless Information Network Laboratory) at New Jersey's Rutgers University междисциплинарный курс «The Wireless Instructional Design Course» by Narayan Mandayam, доступный на сайтах http://www.curricula.ru/technology/curr_wireless.html и <http://www.winlab.rutgers.edu/>.

Курс ориентирован на студентов 3 – 4 курсов университета, специализирующихся в области радиофизики, информационных систем и технологий, вычислительной техники.

Цель курса – сформировать у студентов комплексный подход к решению задач проектирования беспроводных сетей передачи данных, познакомить их с современным состоянием технологии беспроводных сетей передачи данных.

Предмет курса относится к технологии беспроводной цифровой связи, включающей как вопросы разработки оборудования для каналов и сетей беспроводной цифровой связи, так и вопросы программного обеспечения их функционирования. В соответствии со стандартизированной моделью взаимодействия открытых систем передачи информации OSI (Open Systems

Interference) обсуждаемые в рамках курса вопросы относятся к четырем нижним уровням этой модели: физическому, каналному, сетевому и транспортному. Причем, если физический уровень модели является объектом исследований для радиофизиков, а четвертый – транспортный – для программистов, то каналный и сетевой уровни неразрывно объединяют обе дисциплины. Так как разработка оборудования и программного обеспечения для этих уровней открытых систем цифровой связи является единым процессом, возникает необходимость в междисциплинарном курсе, читаемом как для будущих специалистов – радиофизиков, так и для специалистов по программированию (или шире – computer science).

Компоненты этого курса:

- Основные понятия и принципы
 - Введение в беспроводную связь
 - Модели каналов связи
 - Факторы распространения радиоволн
 - Принципы множественного доступа к каналам связи
 - Уровень сетевых протоколов
 - Примеры реализаций
 - Моделирование беспроводной сети (PHY, MAC & Networks layers)
- Изучаются на примерах
 - IEEE 802.11
 - IEEE 802.15
 - IEEE 802.16

В отличие от США, где оригинальный курс читается студентам второго года обучения, у нас этот курс рассчитан на студентов старших курсов и включает два уровня сложности изложения с увеличением продолжительности курса до двух семестров. Углубленный уровень изучения базируется на материалах спецкурсов, разработанных в Лаборатории ФОТБС

радиофизического факультета ННГУ. Курс рекомендуется для изучения в 7 и 8 семестрах.

План адаптированного для Российских ВУЗов варианта курса несколько отличается от американского оригинала и представлен ниже:

ТАБЛИЦА 1.

Первый семестр	
Раздел	Лекции
1. Вводный	1. Обзорная 2. Основные понятия и определения для радиотехнических систем передачи информации
2. Распространение радиоволн	1-2. Особенности распространения радиоволн в системах мобильной связи 3-4. Особенности распространения УКВ радиоволн в городе
3. Шумы и помехи в радиоканалах	1. Структуры и характеристики приемных устройств систем беспроводной связи 2. Помехоустойчивость систем цифровой радиосвязи с когерентной обработкой сигналов 3. Помехоустойчивость систем цифровой радиосвязи с некогерентной обработкой сигналов 4. Помехоустойчивость систем цифровой радиосвязи с ОФМ и ЧММС
4. Основы сетевых технологий	1. Особенности реализации канального уровня и механизмов межуровневого взаимодействия в беспроводных сетях 2. Система имитационного моделирования Ns-2
5. Лабораторные работы	1. Исследование процессов кодирования источника и полосовой модуляции/демодуляции в среде LabView 2. Система моделирования сетей связи ns 2

Второй семестр	
Раздел	Лекции
6. Персональные беспроводные сети	1. Обзор архитектуры Bluetooth
7. Локальные беспроводные сети WiFi	1. Введение. Обзор стандартов 802.11. Обзор топологий WLAN 2. Механизм доступа к среде стандарта 802.11 (уровень MAC) 3. Принципы передачи данных в OFDM-системе и физический уровень стандарта IEEE 802.11a-1999 4. Формирование фрейма физического уровня стандарта IEEE 802.11a 5. Беспроводные локальные сети стандарта 802.11. Стандарт 802.11b 6. Беспроводные локальные сети стандарта 802.11g. Особенности сетей стандарта 802.11n.
8. Городские беспроводные сети WiMax	1. Введение 2. MAC уровень WiMax - систем 3. Обзор физических уровней стандарта 802.16
9. Мобильные сети	1. Мобильные сети (1) 2. Мобильные сети (2)
10. Курсовой проект по WiFi	

Все лекции курса разработаны преподавателями радиофизического факультета ННГУ и не являются переводом лекций «The Wireless Instructional Design Course».

ТАБЛИЦА 2.

Преподаватели	Разделы
Гавриленко Владимир Георгиевич	2
Головачев Дмитрий Андреевич	4, 9
Ермолаев Виктор Тимофеевич	7, 8

Ивлев Дмитрий Николаевич	5, 6
Канаков Владимир Анатольевич	1, 3
Канаков Олег Игоревич	4, 5
Мишагин Константин Геннадьевич	4, 5
Панфилов Сергей Владимирович	3, 5
Флакман Александр Григорьевич	7, 8
Яшнов Владимир Александрович	2

Материалы курса содержат набор презентаций и полных текстов лекций, методические указания и описания лабораторных работ с необходимым программным обеспечением. Полнота представленных материалов вполне достаточна для освоения базовой части курса. Для более углубленного изучения курса рекомендуется познакомиться со следующими спецкурсами Лаборатории ФОТБС:

- В.Т. Ермолаев, В.И. Есипенко. Цифровые системы связи
- В.Г. Гавриленко, В.А. Яшнов. Распространение радиоволн в системах мобильной связи
- И.Я. Орлов. Защита информационных систем от помех
- Д.А. Головачев. Сетевые технологии

Перечислим некоторые наиболее широко распространенные системы радиосвязи.

В прошлом веке наиболее широкое распространение получили аналоговые системы радиосвязи. Лучшее всего широкой публике известны системы аналогового радио- и телевизионного вещания, организованные с использованием наземных передающих центров. Эти системы работают в широком частотном диапазоне. Радиовещание ведется в диапазоне частот от 30 КГц до 120 МГц, при этом на относительно низких частотах используется

амплитудная модуляция с полосой занимаемых частот около 10 КГц, а на более высоких частотах используется частотная модуляция в полосе 120 КГц, обеспечивающая высококачественную передачу сигнала. Телевизионное вещание ведется в диапазоне частот от 60 до 800 МГц с амплитудной модуляцией с одной боковой полосой и полосой занимаемых сигналом частот 8 – 10 МГц.

Помимо наземных сетей радио- и телевизионного вещания во второй половине прошлого века появились спутниковые широковещательные системы. Для непосредственного вещания на домашние приемники используются передатчики, расположенные на геостационарных спутниках. Аналоговое вещание ведется в диапазоне частот 200 – 1200 МГц.

Помимо широковещательных сетей широкое распространение получили закрытые системы аналоговой радиосвязи, использующие практически весь радиодиапазон и очень широкий набор способов модуляции сигнала.

Помимо аналоговых получили широкое распространение и цифровые системы связи. К их числу относятся цифровые каналы связи через геостационарные и низкоорбитальные спутники, мобильные телефонные сети, наземные стационарные и мобильные закрытые системы цифровой связи, беспроводные локальные сети передачи цифровых данных. По цифровым каналам связи информация передается с высокой надежностью и высокой скоростью. Для увеличения скорости передачи данных используются все более высокие частоты, в том числе СВЧ, КВЧ инфракрасное и оптическое излучение.

В настоящее время функционирует огромное число систем радиосвязи, отличающееся многообразием назначения, дальности действия, диапазона используемых частот и способов модуляции и кодирования информации. Каналы связи можно классифицировать по различным показателям.

В теории передачи сигналов каналы классифицируют по характеру сигналов на входе и выходе. Различают *непрерывные, дискретные* и

дискретно-непрерывные каналы. В непрерывных каналах сигналы на входе и выходе непрерывны по уровням, в дискретных - они соответственно дискретны, а в дискретно-непрерывных - сигналы на входе дискретны, а на выходе непрерывны, и наоборот.

Возможна также классификация каналов по назначению (телеграфные, телефонные, телевизионные, телеметрические и др.), по виду физической среды распространения (проводные, кабельные, волноводные и др.) и по диапазону используемых ими частот. К радиодиапазону относят частоты в пределах $30 \dots 30 \cdot 10^{12}$ Гц, что соответствует длинам волн от 10^8 м до 0,1 мм. Кроме радиодиапазона, в настоящее время широкое распространение нашел и оптический диапазон волн. В силу дискретного характера электромагнитного излучения в оптическом диапазоне волн такие каналы принято называть *квантовыми*. Данные о радиодиапазонах приведены в таблице.

ТАБЛИЦА 3

Диапазон частот	Диапазон волн	Название частот	Названия волн
30 ...300 Гц	1000... 10000 км	Сверхнизкие(СНЧ)	
300 ...3000 Гц	100... 1000 км	Инфранизкие (ИНЧ)	
3... 30 кГц	10... 100 км	Очень низкие (ОНЧ)	Мириаметровые
30 ...300 кГц	1... 10 км	Низкие (НЧ)	Километровые
300... 3000 кГц	100... 1000м	Средние (СЧ)	Гектометровые
3... 30 МГц	10... 100 м	Высокие (ВЧ)	Декаметровые
30... 300 МГц	1... 10 м	Очень высокие(ОВЧ)	Метровые
300... 3000 МГц	10... 100 см	Ультравысокие(УВЧ)	Дециметровые
3... 30 ГГц	1 ...10 см	Сверхвысокие(СВЧ)	Сантиметровые
30... 300 ГГц	1... 10 мм	Крайне высокие(КВЧ)	Миллиметровые
300... 3000 ГГц	0,1... 1 мм	Гипервысокие(ГВЧ)	Децимиллиметровые

По способу распространения радиоволн различают каналы с *открытым* и с *закрытым* распространением. В каналах с закрытым распространением электромагнитная энергия распространяется по направляющим линиям (кабельные, проводные, волноводные СВЧ тракты и

др.). Для них характерны малый уровень помех и постоянство параметров сигнала, что позволяет передавать информацию с высокой скоростью и достоверностью.

Рассмотрим кратко особенности использования радиоволн различных диапазонов в каналах с открытым распространением. В диапазонах ИНЧ, ОНЧ, НЧ на небольших расстояниях поле в месте приема создается за счет дифракционного огибания волнами выпуклой поверхности Земли. На больших расстояниях радиоволны распространяются в своеобразном сферическом волноводе, внутренняя стенка которого образуется поверхностью Земли, а внешняя - ионосферой. Такой механизм распространения позволяет принимать сигналы в любой точке Земли, причем параметры принятых сигналов отличаются достаточно высокой стабильностью. Особенностью этих диапазонов является также способность волн проникать в толщу Земли и воды на глубину в десятки метров.

В распространении волн диапазона ВЧ принимает участие ионосфера. Однако если волны длиннее 1 км отражаются от нижнего ее слоя практически зеркально, то декаметровые волны достаточно глубоко проникают в ионосферу, что приводит к эффекту *многолучевости*, когда в точку приема приходит одновременно несколько сигналов с разными временами запаздывания. Многолучевость может носить *дисперсионный* или дискретный характер. Дисперсия (рассеяние) сигнала определяется отражением радиоволн от некоторого объема ионосферы, а дискретная многолучевость - отражением от разных слоев ионосферы. Так как глубина проникновения в ионосферу зависит от длины волны, то для передачи информации между двумя пунктами можно указать оптимальную рабочую частоту (ОРЧ), на которой связь будет наиболее надежной (максимум мощности принимаемого сигнала, минимум эффекта многолучевости). Значения ОРЧ рассчитывают для определенных трасс и времени связи. Для этого составляют долговременные и кратковременные прогнозы по данным мировой сети станций ионосферного зондирования. Декаметровые волны

широко применяются для глобальной связи и радиовещания. С их помощью можно передавать информацию сравнительно большого объема в пределах всего земного шара при ограниченной мощности передатчика и небольших по размеру антеннах. До появления спутниковых систем связи этот диапазон был единственным пригодным для организации связи между двумя любыми пунктами на Земле без промежуточной ретрансляции. Однако эффект глобального распространения коротких волн имеет и свою отрицательную сторону - в точке приема могут появиться сильные помехи от дальних радиостанций.

Гектометровые волны днем распространяются как земные, а ночью - как ионосферные. Дальность распространения земной волны над сушей не превышает 500 км, а над морем - 1000 км. Диапазон СЧ широко используется в радиовещании, связи и радионавигации.

Волны диапазона частот от 30 МГц и выше слабо дифрагируют и поэтому распространяются в пределах прямой видимости. Некоторого увеличения дальности можно достичь, применив поднятые антенны, а для организации связи на расстояния, превышающие прямую видимость, ретрансляцию сигналов. Системы с ретрансляцией сигналов называются *радиорелейными линиями*. Одним из основных достоинств высокочастотных диапазонов является большой частотный ресурс, что позволяет создавать радиосистемы передачи информации с высокой скоростью передачи и радиосети с большим числом одновременно работающих радиостанций.

Стремление увеличить дальность радиолинии в этих диапазонах без промежуточной ретрансляции нашло свое решение в РСПИ, использующих рассеяние радиоволн на неоднородностях тропосферы, ионосферы и метеорных следах. Однако такие системы по качеству передачи информации не могут конкурировать с радиорелейными линиями того же диапазона, поэтому их имеет смысл применять тогда, когда строительство радиорелейных линий по тем или иным причинам невозможно.

Стремление увеличить ширину полосы частот канала, а также повысить пространственную селекцию сигналов за счет использования остронаправленных антенн при их ограниченных размерах привело к освоению диапазона миллиметровых и дециметровых волн. Главной особенностью их с точки зрения распространения является сильное поглощение в дожде и тумане, что ограничивает их применение в наземных системах большой дальности. Однако в космических и спутниковых системах они весьма перспективны.

Новую эру в освоении высокочастотной области радиодиапазона для средств связи открыл запуск искусственных спутников Земли (ИСЗ). Обычно ИСЗ находятся на высоте от 500 до 40 000 км от поверхности Земли и поэтому обеспечивают радиосвязь между земными станциями, удаленными на расстояния до 10... 17 тыс. км. Линия спутниковой связи состоит из двух конечных земных станций и одного или нескольких спутников - ретрансляторов, обращающихся вокруг Земли по заданным орбитам.

Из всего многообразия орбит ИСЗ особый интерес представляет экваториальная круговая орбита, удаленная от поверхности Земли на расстояние около 36000 км (стационарная экваториальная орбита). Когда направление движения ИСЗ по такой орбите совпадает с направлением вращения Земли, спутник будет казаться наземному наблюдателю неподвижным (*стационарный* спутник). При использовании трех стационарных спутников, расположенных в экваториальной плоскости через 120° по дуге, принципиально оказывается возможным организовать глобальную систему связи. Максимальный от горизонта до горизонта обзор земной поверхности от одного ИСЗ или, иначе говоря, максимальное расстояние вдоль поверхности Земли между двумя станциями будет практически составлять 15...17 тыс. км. Существенные преимущества стационарной орбиты заключаются в снижении требований к системам слежения за спутником, сведении к минимуму доплеровских сдвигов частоты сигналов, что упрощает приемное устройство при большом обзоре

поверхности Земли. Недостатком стационарной орбиты является плохой охват приполярных зон. Поэтому в России (Советском Союзе) для систем связи широко применяются сильно вытянутые эллиптические орбиты с большой полуосью до 5 земных радиусов с эксцентриситетом 0,8... 0,9 и углом наклона примерно 65° . Три спутника, выведенные через равномерные интервалы времени на аналогичные эллиптические орбиты, восходящие узлы которых смещены относительно друг друга на 120° , могут обеспечить круглосуточную непрерывную связь между земными станциями, расположенными в Северном полушарии Земли, на глобальные расстояния.

Выбор рабочих частот для линии радиосвязи через ИСЗ определяется следующими факторами: условиями распространения и поглощения радиоволн, уровнем внешних помех, принимаемых антенной, техническими средствами (коэффициент шума приемного устройства, ширина лепестка диаграммы направленности антенны, точность ориентации и т. п.), взаимными помехами между системами связи через ИСЗ и другими службами, работающими в смежных или совмещенных диапазонах частот. Ограничение диапазона частот снизу определяется экранирующим действием ионосферы, а сверху — поглощением в тропосфере. Эти два фактора предопределили диапазон рабочих частот 30 МГц... 40 ГГц. В настоящее время наибольшее использование находит диапазон 1... 12 ГГц.