

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Современные сети Wi-Fi
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Инфокоммуникационные и вычислительные системы и технологии Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий Кафедра проблем передачи информации и анализа данных
курс:	4
квалификация:	Бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (Весенний) - Экзамен

Программу составили: **Е.М. Хоров, кандидат технических наук**
И.А. Левицкий, ассистент

Аннотация

В данном курсе рассматриваются проблемы современных сетей Wi-Fi, обеспечивающих высокую скорость, низкое энергопотребление, многошаговую передачу информации, а также работающих в миллиметровом диапазоне радиоволн. Особое внимание уделено актуальным задачам развития технологии Wi-Fi, нашедших свое отражение в последних дополнениях к стандарту, в том числе тех, что разрабатываются на момент чтения курса: 11ax, 11ay, 11ba, 11be и других.

Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 8 (Весенний)

1. Многошаговые сети (дополнение IEEE802.11s).

Сети MANET и mesh-сети. Обнаружение соседей. Математическая модель механизма управления соединениями в многошаговых сетях с протоколами IEEE 802.11s и NHDP. Протоколы маршрутизации: OLSR, HWMP. Резервирование канала. МССА. Математическая модель передачи мультимедийного трафика реального времени методом детерминированного доступа.

2. Высокоскоростные сети Wi-Fi (дополнения IEEE802.11n, IEEE802.11ac).

Адаптация методов доступа к каналу при использовании технологии многоантенных передач MIMO и объединении частотных каналов. Агрегирование A-MPDU/A-MSDU. Блочное подтверждение доставленных данных. Технология многопользовательских многоантенных передач MU-MIMO в нисходящем канале. Методы энергосбережения. Процедура разделения TXOP в дополнении IEEE 802.11ac. Протокол обратной передачи данных (Reverse Direction protocol) в дополнениях IEEE 802.11n.

3. Плотные сети Wi-Fi (дополнение IEEE802.11ax).

Проблемы плотных сетей. Множественный доступ OFDMA с ортогональным частотным разделением. Планировщики ресурсов в сетях IEEE 802.11ax. Метод случайного доступа к каналу на основе технологии OFDMA. Технология многопользовательских многоантенных передач MU-MIMO в восходящем канале. Механизм справедливого распределения общего канального ресурса в сетях IEEE 802.11ax между «устаревшими» (legacy) станциями и станциями 802.11ax. Аналитическая модель настройки параметров EDCA в сетях IEEE 802.11ax. Методы снижения интерференции в плотных сетях Wi-Fi. Адаптивный порог RTS/CTS. Механизмы энергосбережения в сетях IEEE 802.11ax.

4. Сети Wi-Fi в миллиметровом диапазоне (дополнения IEEE802.11ad, IEEE802.11ay).

Особенности беспроводной передачи данных в диапазоне 60 ГГц. Сценарии использования сверхвысокоскоростных сетей Wi-Fi. Архитектура сети. Кластеризация. Централизованное и распределенное управление кластером. Временная структура суперкадра. Антенная решетка. Направленные передачи. Процедура фокусировки луча. Пространственное разделение. Квазипериодическое резервирование ресурсов. Аналитическая модель метода детерминированного доступа к каналу в сетях IEEE 802.11ad. Методы ретрансляции данных в сетях IEEE802.11ad/ay: переключение соединения, совместная ретрансляция.

5. Перспективы развития технологии Wi-Fi.

Повышение энергоэффективности устройств Wi-Fi с помощью использования дополнительного радиоинтерфейса. Позиционирование устройств Wi-Fi внутри зданий. Li-Fi – передача в спектре видимого излучения. Обеспечение сверхнизкой задержки при доставке данных в сетях Wi-Fi. Полнодуплексная передача.

Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Matthew S. Gast, 802.11ac: A Survival Guide: Wi-Fi at Gigabit and Beyond. O'Reilly Media. 2013.
2. Matthew S. Gast, 802.11n: A Survival Guide: Wi-Fi Above 100 Mbps. O'Reilly Media. 2012.
3. Khorov E.M., Kiryanov A.G., Lyakhov A.I. IEEE 802.11ax: How to Build High Efficiency WLANs // In Proc. of IEEE En&T 2015, Moscow, Russia, 2015.
4. Shvets E.A., Lyakhov A.I., Safonov A.A., Khorov E.M. Analytical model of IEEE 802.11s MCCA based streaming in the presence of noise // ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review. 2011. V. 39. No. 2. P. 38-40.
5. Ivanov A., Khorov E., Zankin V., Lyakhov A. Mathematical Model for Scheduling in IEEE 802.11ad Networks // In Proceedings of IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC 2016), Colmar, France, 11-13 July, 2016.
6. Khorov E., Loginov V., Lyakhov A. Several EDCA Parameter Sets for Improving Channel Access in IEEE 802.11ax Networks // In proc. of International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS) 2016, Poznan, Poland, 20-23 September, 2016.
7. Khorov E., Krasilov A., Krotov A., Lyakhov A. Will MCCA revive wireless multihop networks? // Computer Communications. Volume 104, May 2017, Pages 159–174.
8. Bankov D., Didenko A., Khorov E., Loginov V., Lyakhov A. IEEE 802.11ax Uplink Scheduler to Minimize Delay: a Classic Problem with New Constraints // In proc. of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Montreal, Canada, 2017.

9. Khorov E.M., Ivanov A.S., Lyakhov A.I., Zankin V.P. Modelling Deterministic Channel Access in Millimetre Wave Wi-Fi // 12th Int. Symp. on Wireless Communication Systems (ISWCS 2015), 25–28 August 2015, Brussels, Belgium.
10. Кирьянов А.Г., Ляхов А.И., Сафонов А.А., Хоров Е.М. Метод оценки эффективности механизмов управления соединениями в беспроводных самоорганизующихся сетях // Автоматика и телемеханика, 2012. № 5. С. 39–56. [Kir'yanov, A. G.; Lyakhov, A. I.; Safonov, A. A., Khorov E.M. A method to estimate efficiency of the connection control mechanisms in wireless self-organizing networks // Automation and Remote Control. 2012. Vol. 73, No. 5. P. 797–809].
11. Khorov E.M., Kiriyarov A.G., Lyakhov A.I., Safonov A.A. Analytical Study of Link Management in IEEE 802.11s Mesh Networks // International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Paris, France, 2012. P. 786-790. (Best paper award).
12. Ляхов А.И., Некрасов П.О., Островский Д.М., Сафонов А.А., Хоров Е.М. Анализ совместного использования проактивного и реактивного методов распространения сетевой информации в многошаговых беспроводных сетях // Информационные процессы. 2012. Том 12, №3. С. 198-212. [Lyakhov, A. I.; Nekrasov, P. O.; Ostrovsky, D. M.; Safonov, A. A., Khorov E.M. Analysis of the joint use of the proactive and reactive methods of the topology information dissemination in ad-hoc wireless networks // Journal of Communications Technology and Electronics. 2012. Vol. 57, No 12. P. 1322–1330].

Дополнительная литература

1. Диденко А.А., Банков Д.В., Хоров Е.М. Планирование канальных ресурсов для минимизации задержки при передаче данных в сетях IEEE 802.11ax // Сборник трудов конференции "Информационные Технологии и Системы (ИТиС) 2017", Уфа, Россия, 14-18 сентября 2017.
2. Куреев А.А., Левицкий И.А. Локализация в помещениях с помощью сетей Wi-Fi // Сборник трудов конференции "Информационные Технологии и Системы (ИТиС) 2017", Уфа, Россия, 14-18 сентября 2017.
3. Khorov E., Kiryanov A., Krotov A., Gallo P., Garlisi D., Tinnirello I. Joint Usage of Dynamic Sensitivity Control and Time Division Multiple Access in Dense 802.11ax Networks Multiple Access Communications: 9th International Workshop, MACOM 2016, Aalborg, Denmark, November 21-22, 2016, Proceedings. Pp. 57-71. Springer.
4. Ivanov A., Khorov E., Kuznetsov E., Lyakhov A. Mathematical Model of QoS-aware Multicast Transmission via Periodic Reservations // In proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2016), Doha, Qatar, 2016.
5. Кирьянов А.Г., Хоров Е.М. Wi-Fi: четверть века – это только начало // ИнформКурьер-Связь — №3-4, С.60-63.
6. Логинов В.А., Ляхов А.И., Хоров Е.М. Анализ эффективности механизма доступа к среде при использовании OFDMA в сетях Wi-Fi нового поколения // «Информационные технологии и системы 2016» 40-я междисциплинарная школа-конференция, Репино, Санкт-Петербург, Россия, 25-30 сентября, 2016.
7. Иванов А.С., Ляхов А.И., Хоров Е.М. Аналитическая модель многошаговой передачи неординарного потока в беспроводных сетях с резервированиями канала // Автоматика и телемеханика, 2015. №7. С. 52–68. [Ivanov A.S. Lyakhov A.I. and Khorov E.M. Analytical Model of Batch Flow Multihop Transmission in Wireless Networks with Channel Reservations // Automation and Remote Control. July 2015, Volume 76, Issue 7, pp 1179-1192].
8. Кирьянов А.Г., Куреев А.А., Ляхов А.И., Хоров Е.М.. Анализ механизмов построения логической топологии в сетях MANET // Информационные процессы, Т. 15, № 2, 2015, С. 183–197. [Kiryanov A.G., Kureev A.A., Lyakhov A.I. , Khorov E.M.. Analysis of Logical Topology Construction Mechanisms in MANET //Journal of Communications Technology and Electronics, 2015. Vol. 60. No. 12. pp. 1379–1388].

9. Khorov E.M., Kiryanov A.G., Lyakhov A.I., Ostrovsky D.M. Analytical Study of Neighborhood Discovery and Link Management in OLSR // IFIP Wireless Days 2012, Dublin, Ireland, 2012.
10. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.Л. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера, 2005.